目　录

第一部分　高中物理活题巧解方法总论

一、整体法 …… (1)
二、隔离法 …… (2)
三、力的合成法 …… (4)
四、力的分解法 …… (5)
五、力的正交分解法 …… (6)
六、加速度分解法 …… (7)
七、加速度合成法 …… (8)
八、速度分解法 …… (9)
九、速度合成法 …… (10)
十、图象法 …… (11)
十一、补偿法(又称割补法) …… (13)
十二、微元法 …… (14)
十三、对称法 …… (15)
十四、假设法 …… (17)
十五、临界条件法 …… (18)
十六、动态分析法 …… (19)
十七、利用配方求极值法 …… (20)
十八、等效电源法 …… (22)
十九、相似三角形法 …… (23)
二十、矢量图解法 …… (24)
二十一、等效摆长法 …… (25)
二十二、等效重力加速度法 …… (26)
二十三、特值法 …… (27)
二十四、极值法 …… (28)
二十五、守恒法 …… (29)
二十六、模型法 …… (30)

更多资料干货关注微信公众号 学习第一线 赠送5000G学习大礼包

二十七、模式法 …… (31)
二十八、转化法 …… (33)
二十九、气体压强的参考液片法 …… (34)
三十、气体压强的平衡法 …… (34)
三十一、气体压强的动力学法 …… (35)
三十二、平衡法(有收尾速度问题) …… (36)
三十三、穷举法 …… (37)
三十四、通式法 …… (38)
三十五、逆向转换法 …… (39)
三十六、比例法 …… (41)
三十七、推理法 …… (42)
三十八、密度比值法 …… (45)
三十九、程序法 …… (46)
四十、等分法 …… (47)
四十一、动态圆法 …… (48)
四十二、放缩法 …… (49)
四十三、电流元分析法 …… (50)
四十四、估算法 …… (51)
四十五、节点电流守恒法 …… (52)
四十六、拉密定理法 …… (53)
四十七、代数法 …… (54)
四十八、几何法 …… (57)

第二部分　同步巧学　活题巧解与综合测试

第一章　匀变速直线运动的研究

难点巧学 …… (59)
一、透彻理解加速度概念 …… (59)
二、区分 $x-t$ 图象和 $v-t$ 图象 …… (59)
三、深刻领会三个基础公式 …… (59)
四、善用匀变速直线运动几个重要推论 …… (60)

五、抓住时空观解决追赶(相遇)问题 …… (60)
活题巧解 …… (60)
综合测试 …… (64)
第二章　相互作用
难点巧学 …… (66)
一、利用“假设法”判断弹力的有无以及其方向 …… (66)
二、利用动态分析法分析弹簧弹力 …… (66)
三、静摩擦力方向判断 …… (66)
四、力的合成与分解 …… (66)
五、物体的受力分析 …… (67)
活题巧解 …… (67)
综合测试 …… (71)
第三章　牛顿运动定律
难点巧学 …… (73)
一、有关弹簧问题中应用牛顿定律的解题技巧 …… (73)
二、连接体问题分析策略——整体法与隔离法 …… (74)
活题巧解 …… (75)
综合测试 …… (79)
第四章　机械能及其守恒定律
难点巧学 …… (81)
一、“六法”——求力的功 …… (81)
二、“五大对应”——功与能关系 …… (81)
三、“四法”——判断机械能守恒 …… (81)
四、“三法”——巧解链条问题 …… (82)
五、两种含义——正确理解功的公式,功率的公式 …… (82)
六、解题的重要法宝之一——动能定理 …… (82)
七、作用力与反作用力的总功为零吗?——摩擦力的功归类 …… (82)
活题巧解 …… (82)
综合测试 …… (88)
第五章　曲线运动
难点巧学 …… (90)
一、巧用“两边夹”确定物体的曲线运动情况 …… (90)
二、效果法——运动的合成与分解的法宝 …… (90)
三、平抛运动中的“二级结论”有妙用 …… (91)
四、建立“$F_{供}=F_{需}$”关系,巧解圆周运动问题 …… (91)
更多资料干货 关注微信公众号 学习第一线 赠送5000G学习大礼包
五、把握两个特征,巧学圆周运动 …… (91)
六、现代科技和社会热点问题——STS 问题 …… (91)
活题巧解 …… (92)
综合测试 …… (97)
第六章　万有引力与航天
难点巧学 …… (99)
一、巧用黄金代换式“$GM=R^2g$” …… (99)
二、巧用“比例法”——解天体运动问题的金钥匙 …… (99)
三、巧解天体质量和密度的三种方法 …… (99)
四、巧记同步卫星的特点——“五定” …… (100)
活题巧解 …… (100)
综合测试 …… (104)
第七章　磁场
难点巧学 …… (106)
一、利用“结论法”和“等效法”判断导体在安培力作用下的运动情况 …… (106)
二、巧用平面图,速解安培力作用下的导体平衡问题 …… (106)
三、巧用几何知识,突破高考难点 …… (106)
活题巧解 …… (107)
综合测试 …… (114)
第八章　电磁感应
难点巧学 …… (116)
一、巧学磁通量 Φ、磁通量的变化 $\Delta\Phi$、磁通量变化率 $\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$ …… (116)
二、巧学楞次定律 …… (116)
三、巧学法拉第电磁感应定律 …… (116)
四、求电量的两种巧解方法 …… (117)
五、电磁感应中综合问题 …… (118)
活题巧解 …… (120)
综合测试 …… (124)

第九章　电磁波及其应用

难点巧学 …… (126)

一、记住“电场能量看电压,磁场能量看电流”。就能快速解决电磁振荡中与能量相关的问题 …… (126)

二、巧用口诀“电同步、磁同步,电、磁不同步”,解题又快捷又准确 …… (126)

三、掌握“三个要点,突出能量观点” …… (126)

四、熟识图,快解题 …… (126)

五、麦克斯韦电磁场理论的两大支柱 …… (127)

活题巧解 …… (127)

综合测试 …… (130)

第十章　分子动理论　内能

难点巧学 …… (132)

一、巧建模型——气体压强的理解及大气压的应用 …… (132)

二、活用平衡条件及牛顿第二定律——气体压强的计算 …… (132)

三、微观与宏观——正确理解气体的压强、体积与温度及其关系 …… (132)

活题巧解 …… (132)

综合测试 …… (136)

第十一章　能量的守恒与耗散

难点巧学 …… (138)

一、物质是由大量分子组成的 …… (138)

二、布朗运动 …… (138)

三、分子间作用力 …… (138)

四、内能概念的内涵 …… (138)

五、能的转化和守恒定律 …… (138)

活题巧解 …… (139)

综合测试 …… (142)

第十二章　电场　直流电路

难点巧学 …… (144)

一、巧用库仑定律解决带电导体球间力的作用 …… (144)

二、巧选电场强度公式解决有关问题 …… (144)

三、巧用电场能的特性解决电场力做功问题 …… (144)

四、巧用电容器特点解决电容器动态问题 …… (145)

五、利用带电粒子在电场中不同状态解决带电粒子在电场中的运动 …… (145)

六、巧转换,速求电场强度 …… (146)

七、巧用“口诀”,处理带电平衡问题 …… (146)

八、巧用等效法处理复合场问题 …… (147)

更多资料干货 关注微信公众号 学习第一线 赠送5000G学习大礼包

九、巧用图象法处理带电粒子在交变电场中运动问题 …… (147)

活题巧解 …… (147)

综合测试 …… (152)

第十三章　交变电流　电机

难点巧学 …… (154)

一、交变电流 …… (154)

二、巧从“等效替代”理解交变电流的有效值 …… (154)

三、巧用交变电流的“四个值” …… (154)

四、巧用交变电流瞬时表达式或图象 …… (155)

五、变压器的原理及规律 …… (155)

六、巧用远距离输电“三、二、一” …… (155)

活题巧解 …… (156)

综合测试 …… (159)

第十四章　物体的平衡

难点巧学 …… (161)

一、熟记口诀巧解题 …… (161)

二、巧作力的矢量图,解决力的平衡问题 …… (161)

三、巧用图解分析求解动态平衡问题 …… (161)

四、巧替换、化生僻为熟悉,化繁难就简易 …… (161)

五、巧选研究对象是解决物理问题的关键环节 …… (162)

活题巧解 …… (162)

综合测试 …… (168)

第十五章　恒定电流

难点巧学 …… (170)

一、巧记常见的电阻连接规律 …… (170)

二、巧用“串反并同”规律解决电路的动态变化及故障问题 …… (170)

三、巧用闭合电路中能量的转化 …… (170)

四、巧记伏安法则电阻内、外接法与变阻器的两种接法 …… (170)

活题巧解 …… (170)

综合测试 …………………………………………………………………… (174)
第十六章　机械振动
难点巧学 …………………………………………………………………… (176)
一、巧用力、能的观点判断弹簧振子振动中物理量的变化 …………………… (176)
二、弹簧振子运动的周期性、对称性 ……………………………………… (176)
三、巧用比值处理摆钟问题 ………………………………………………… (176)
四、巧用位移的变化分析质点的振动:振动图像与振动对应 ……………… (177)
五、巧用等效思想处理等效单摆 …………………………………………… (177)
活题巧解 …………………………………………………………………… (177)
综合测试 …………………………………………………………………… (180)
第十七章　机械波
难点巧学 …………………………………………………………………… (182)
一、巧用绳波图理解机械波的形成 ………………………………………… (182)
二、波图像和振动图像的区别 ……………………………………………… (182)
三、波的叠加　波的干涉 …………………………………………………… (182)
活题巧解 …………………………………………………………………… (183)
综合测试 …………………………………………………………………… (186)
第十八章　光
难点巧学 …………………………………………………………………… (188)
一、光的直线传播 …………………………………………………………… (188)
二、光的反射定律的巧记 …………………………………………………… (188)
三、光的折射定律的巧记 …………………………………………………… (188)
四、光的色散规律的理解记忆 ……………………………………………… (188)
五、光从一种介质 1 进入另一种介质 2 满足的四个规律 ………………… (188)
活题巧解 …………………………………………………………………… (188)
综合测试 …………………………………………………………………… (193)
第十九章　光的波动性
难点巧学 …………………………………………………………………… (195)
一、利用“分光”的方法获得相干光源 ……………………………………… (195)
二、巧用干涉增加透射光强度 ……………………………………………… (195)
三、巧用干涉现象检查平面凸或凹的规律 ………………………………… (195)
四、利用反射和折射得到互相垂直的偏振光 ……………………………… (195)
活题巧解 …………………………………………………………………… (195)
综合测试 …………………………………………………………………… (199)
第二十章　动量守恒定律
关注 赠送5000G学习大礼包
难点巧学 …………………………………………………………………… (201)
一、“寻”规、“导”矩学动量 ………………………………………………… (201)
二、巧用动量定理解释常见的两类物理现象 ………………………………… (201)
三、巧用动量定理解三类含“变”的问题 …………………………………… (202)
四、动量守恒定律的“三适用”“三表达”——动量守恒的判断 …………… (202)
五、构建基本物理模型——学好动量守恒的法宝 ………………………… (203)
六、巧用动量守恒定律求解多体问题 ……………………………………… (204)
七、巧用动量守恒定律求解多过程问题 …………………………………… (204)
八、从能量角度看动量守恒问题中的基本物理模型——动量学习的提高篇 … (205)
九、一条连等巧串三把“金钥匙” …………………………………………… (205)
活题巧解 …………………………………………………………………… (206)
综合测试 …………………………………………………………………… (212)
第二十一章　波粒二象性
难点巧学 …………………………………………………………………… (214)
一、光电效应 ………………………………………………………………… (214)
二、光的波粒二象性的理解 ………………………………………………… (214)
三、氢原子的能级 …………………………………………………………… (214)
活题巧解 …………………………………………………………………… (215)
综合测试 …………………………………………………………………… (219)
第二十二章　原子核
难点巧学 …………………………………………………………………… (221)
一、原子核的核式结构 ……………………………………………………… (221)
二、衰变和核反应 …………………………………………………………… (221)
活题巧解 …………………………………………………………………… (221)
参考答案 …………………………………………………………………… (224)

第一部分
高中物理活题巧解方法总论

高中阶段，最难学的课程是物理，既要求学生有过硬的数学功底，还要求学生有较强的空间立体感和抽象思维能力．本总论较详细地介绍了48种高中物理活题巧解的方法，加上磁场部分"难点巧学"中介绍的"结论法"，共计有49种方法．这些方法中有大家很熟悉的、用得很多的整体法、隔离法、临界条件法、矢量图解法等，也有用得很少的补偿法、微元法、节点电流法等，更多的是用得较多，但方法名称还未统一的巧解方法，这些方法用起来很巧，给人以耳目一新、豁然开朗的感觉，本总论给出了较科学合理的方法名称．古人云：授人以鱼，只供一饭之需；授人以渔，则一生受用无穷．本书编者本着"一切为了学生，为了一切学生，为了学生的一切"的宗旨，呕心沥血地编写了这本书，以精益求精的质量、独具匠心的创意，教会学生在短时间内提高物理分析、解题技能，缩短解题时间，对减轻学习负担、开发智力、提高学习成绩有极大地帮助．

一、整　体　法

研究对象有两个或两个以上的物体，可以把它们作为一个整体，整体质量等于它们的总质量．整体电量等于它们电量代数和．

更多资料干货关注微信公众号 学习第一线 赠送500G学习大礼包

有的物理过程比较复杂，由几个分过程组成．我们可以把这几个分过程看成一个整体．

所谓整体法就是将两个或两个以上物体组成的整个系统，或由几个分过程组成的整个过程作为研究对象进行分析研究的方法．

整体法适用于求系统所受的外力．计算整体合外力时，作为整体的几个对象之间的作用力属于系统内力不需考虑，只需考虑系统外的物体对该系统的作用力，故可使问题化繁为简．

例1　在水平光滑桌面上放置两个物体A、B如图1－1所示，$m_A=1\text{kg}$，$m_B=2\text{kg}$，它们之间用不可伸长的细线相连，细线质量忽略不计，A、B分别受到水平向左拉力$F_1=10\text{N}$和水平向右拉力$F_2=40\text{N}$的作用，求A、B间细线的拉力．

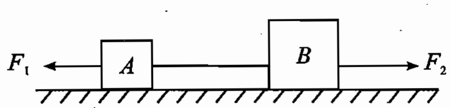


图1－1

【巧解】　由于细线不可伸长，A、B有共同的加速度，则共同加速度$a=\dfrac{F_2-F_1}{m_A+m_B}=\dfrac{40-10}{1+2}=10(\text{m/s}^2)$对于$A$物体：受到细线向右拉力$F$和$F_1$拉力作用，则$F-F_1=m_Aa$．即$F=F_1+m_Aa=10+1\times10=20(\text{N})$

$\therefore F=20\text{N}$.

【答案】　20N

例2　（08山东）直升机悬停在空中向地面投放装有救灾物资的箱子，如图1－2所示．设投放初速度为零，箱子所受的空气阻力与箱子下落速度的平方成正比，且运动过程中箱子始终保持图示姿态．在箱子下落过程中，下列说法正确的是（　　）

A. 箱内物体对箱子底部始终没有压力

B. 箱子刚从飞机上投下时，箱内物体受到的支持力最大

C. 箱子接近地面时，箱内物体受到的支持力比刚投下时大

D. 若下落距离足够长，箱内物体有可能不受底部支持力而"飘起来"

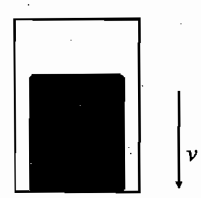


图1－2

【巧解】　以箱与箱内物为研究对象，$a=\dfrac{mg-kv^2}{m}\leqslant g$，再以箱内物体为研究对象，由牛顿第二定律得：$mg-f_N=ma$　$F_N=kv^2$，因此C正确．

【答案】　C

例3　如图1－3所示，质量为M的木箱放在水平面上，木箱中的立杆上套着一个质量为m的小球，开始时小球在杆的顶端，由静止释放后，小球沿杆下滑的加速度为重力加速度的$\dfrac{1}{2}$，

即 $a=\frac{1}{2}g$，则小球在下滑的过程中，木箱对地面的压力为多少？

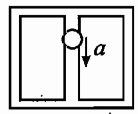


图 1－3

【巧解】 对于“一动一静”连接体，也可选取整体为研究对象，依牛顿第二定律列式：$(mg+Mg)-F_N=ma+M\times 0$ 故木箱所受支持力：$F_N=\frac{2M+m}{2}g$，由牛顿第三定律知：木箱对地面压力 $F_N'=F_N=\frac{2M+m}{2}g$.

【答案】 木箱对地面的压力 $F_N=\frac{2M+m}{2}g$.

例 4 如图 1－4，质量为 m 的物体 A 放置在质量为 M 的物体 B 上，B 与弹簧相连，它们一起在光滑水平面上做简谐振动，振动过程中 A、B 之间无相对运动，设弹簧的劲度系数为 k，当物体离开平衡位置的位移为 x 时，A、B 间摩擦力 f 的大小等于(　　)

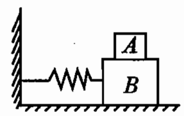


图 1－4

A. 0　　B. kx　　C. $(\frac{m}{M})kx$　　D. $(\frac{m}{M+m})kx$

【巧解】 对于 A、B 构成的整体，当系统离开平衡位置的位移为 x 时，系统所受的合力为 $F=kx$，系统的加速度为 $a=\frac{kx}{m+M}$，而对于 A 物体有摩擦力 $f=F_{合}=ma$，故正确答案为 D.

【答案】 D

例 5 如图 1－5 所示，质量为 $m=2kg$ 的物体，在水平力 $F=8N$ 的作用下，由静止开始沿水平方向右运动，已知物体与水平面间的动摩擦因数 $\mu=0.2$. 若 F 作用 $t_1=6s$ 后撤去，撤去 F 后又经 $t_2=2s$ 物体与竖直壁相碰，若物体与墙壁作用时间 $t_3=0.1s$，碰后反向弹回的速度 $v=6m/s$，求墙壁对物体的平均作用力 F_N（g 取 $10m/s^2$）.

更多资料干货 关注微信公众号 学习第一线 赠送5000G学习大礼包

【巧解】 如果按时间段来分析，物理过程分为三个：撤去 F 前的加速过程；撤去 F 后的减速过程；物体与墙壁碰撞过程. 分段计算会较复杂. 现把全过程作为一个整体（整体法），应用动量定理，并取 F 的方向为正方向，则有 $F\cdot t_1-\mu mg(t_1+t_2)-F_N\cdot t_3=-mv-0$ 代入数据化简可得 $F_N=280N$

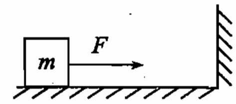


图 1－5

【答案】 $F_N=280N$

巧练 1 如图 1－6 所示，位于水平地面上的斜面体斜面光滑，斜面倾角为 α，斜面体的质量为 M，当 A、B 两物体沿斜面下滑时，A、B 间无相对滑动，斜面体静止，设 A、B 的质量均为 m，则地面对斜面体的支持力 F_N 及摩擦力 f 分别是多少？若斜面体不是光滑的，物体 A、B 一起沿斜面匀速下滑时，地面对斜面体的支持力 F_N 及摩擦力 f 又分别是多少？

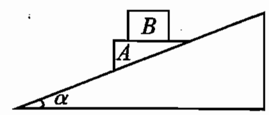


图 1－6

巧练 2 如图 1－7 所示，MN 为竖直墙壁，PQ 为无限长的水平地面，在 PQ 的上方有水平向左的匀强电场，场强为 E. 地面上有一点 A，与竖直墙壁的距离为 d，质量为 m，带电量为 $+q$ 的小滑块从 A 点以初速 v_0 沿 PQ 向 Q 运动，滑块与地面间的动摩擦因数为 μ，若 $\mu mg<Eq$，滑块与墙 MN 碰撞时无能量损失. 求滑块所经历的总路程 s.

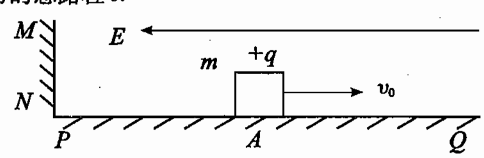


图 1－7

二、隔 离 法

所谓隔离法就是将研究对象（物体）同周围物体隔离开来，单独对其进行受力分析的方法. 隔离法适用于求系统内各物体（部分）间相互作用. 在实际应用中，通常隔离法要与整体法结合起来应用，这样更有利于问题的求解.

例 1 如图 2－1 所示，在两块相同的竖直木板之间，有质量均为 m 的 4 块相同的砖，用两个大小均为 F 的水平力压木板，使砖静止不动，则第 1 块对第 2 块砖摩擦力大小为(　　)

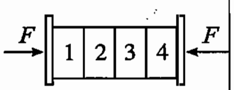


图 2－1

A. 0　　B. $mg/2$　　C. mg　　D. $2mg$

【巧解】 本题所求解的是第 1 块对第 2 块砖摩擦力，属于求内力，最终必须要用隔离法才能求解. 研究对象可以选 1，也可以选 2，到底选哪个更简单呢？若选 2 为研究对象，则 1 对 2 的

摩擦力及3对2的摩擦力均是未知的，无法求解；而选1为研究对象，尽管2对1的摩擦力及左板对1的摩擦力均是未知的，但左板对1的摩擦力可以通过整体法求解．故选1为研究对象求内力较为简单．

先由整体法(4块砖作为一个整体)可得左、右两板对系统的摩擦力方向都竖直向上，大小均为$4mg/2=2mg$．再以1为研究对象分析，其受力图2－2所示(一定要把它从周围环境中隔离开来，单独画受力图)，1受竖直向下的重力为mg，左板对1的摩擦力$f_{左板}$竖直向上，大小为$2mg$，故由平衡条件可得：2对1的摩擦力f_{21}竖直向下，大小为mg．答案应选C项．

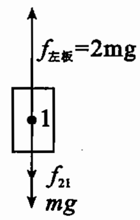


图2－2

【答案】 C

例2 如图2－3所示，斜面体固定，斜面倾角为α，A、B两物体叠放在一起，A的上表面水平，不计一切摩擦，当把A、B无初速地从斜面顶端释放，若运动过程中B没有碰到斜面，则关于B的运动情况描述正确的是(　　)

A. 与A一起沿斜面加速下滑

B. 与A一起沿斜面匀速下滑

C. 沿竖直方向匀速下滑

D. 沿竖直方向加速下滑

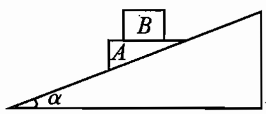


图2－3

【巧解】 本题所求解的是系统中的单个物体的运动情况，故可用隔离法进行分析．由于不计一切摩擦，而A的上表面水平，故水平方向上B不受力．由牛顿第一定律可知，B在水平方向上运动状态不变(静止)，故其运动方向必在竖直方向上．因A加速下滑，运动过程中B没有碰到斜面(A、B仍是接触的)，即A、B在竖直方向上的运动是一样的．故B有竖直向下的加速度．答案D正确．

更多资料干货关注微信公众号 学习第一线 赠送5000G学习大礼包

【答案】 D

例3 如图2－4所示，固定的光滑斜面体上放有两个相同的钢球P、Q，MN为竖直挡板，初状态系统静止．现将挡板MN由竖直方向缓慢转至与斜面垂直的方向，则该过程中P、Q间的压力变化情况是(　　)

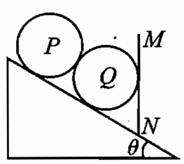


图2－4

A. 一直增大　　　B. 一直减小

C. 先增大后减小　　　D. 一直不变

【巧解】 本题所求解的是系统内力，可用隔离法来分析．研究对象可以选P，也可以选Q，到底选哪个更简单呢？当然选P要简单些，因为P受力个数少．P受到重力、斜面的支持力$N_{斜}$(垂直斜面向上)和Q的支持力N_Q(沿斜面斜向上)共三个力作用，由平衡条件可知，这三个力的合力为零．即重力沿$N_{斜}$、N_Q反方向的分力分别与$N_{斜}$、N_Q的大小相等．在转动挡板过程中，重力的大小及方向都不变，而$N_{斜}$、N_Q的方向也都不变，即分解重力的两个方向是不变的，故分力也不变．故D选项正确．

【答案】 D

例4 如图2－5所示，人重$G_1=600N$，木板重$G_2=400N$，人与木板、木板与地面间滑动摩擦因数均为$\mu=0.2$，现在人用水平力F拉绳，使他与木板一起向右匀速运动，则(　　)

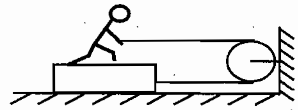


图2－5

A. 人拉绳的力是200N

B. 人的脚给木板的摩擦力向右

C. 人拉绳的力是100N

D. 人的脚给木板的摩擦力向左

【巧解】 求解人与板间的摩擦力方向，属求内力，须用隔离法，研究对象可以选人，也可以选板，到底选哪个更简单呢？当然选人要简单些，因为人受力个数少．以人为研究对象，人在水平方向上只受绳的拉力(水平向右)和板对人的摩擦力两个力作用，属二力平衡，故板对人的摩擦力向左，由牛顿第三定律可知，人的脚给木板的摩擦力向右，B、D两个选项中B选项正确．

绳的拉力属外力，可用整体法来求解．人与板相对地向右运动，滑动摩擦力水平向左，而其大小为$f=\mu N=\mu(G_1+G_2)=0.2\times(600+400)=200N$；人与板系统水平向右受到两个拉力，故由平衡条件可得：$2T=f$，故$T=100N$．答案C选项正确．

【答案】 B、C

巧练1 如图2－6所示，半径为R的光滑球，重为G，光滑木块厚为h，重为G_1，用至少多大的水平力F推木块才能使球离开地面？

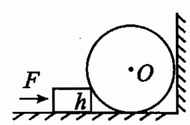


图2－6

巧练2 如图2－7所示，A、B两物体叠放在转台上(A在上，B在下)，并随转台一起匀速转动，则关于A对B的摩擦力的判断正确的是(　　)

A. A对B没有摩擦力

B. A对B有摩擦力，方向时刻与线速度方向相反

C. A对B有摩擦力，方向时刻指向转轴

D. A对B有摩擦力，方向时刻背离转轴

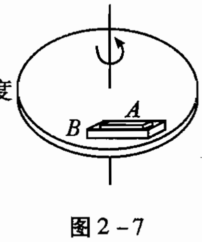


图2－7

三、力的合成法

一个力如果产生的效果与几个力共同作用所产生的效果相同,这个力就叫做那几个的合力,而那几个力就叫做这个力的分力,求几个力的合力叫力的合成.

力的合成遵循平行四边形法则,如求两个互成角度的共点力 F_1、F_2 的合力,可以把表示 F_1、F_2 的有向线段作为邻边,作一平行四边形,它的对角线即表示合力的大小和方向.

共点的两个力 F_1、F_2 的合力 F 的大小,与两者的夹角有关,两个分力同向时合力最大,反向时合力最小,即合力的取值范围为 $|F_1-F_2|\leq F\leq|F_1+F_2|$

合力可以大于等于两力中的任一个力,也可以小于任一个力.当两力大小一定时,合力随两力夹角的增大而减小,随两力夹角的减小而增大.

如果一个物体 A 对另一个物体 B 有两个力作用,当求解 A 对 B 的作用力时,通常用力的合成法来求解.

例1 水平横梁的一端 A 插在墙壁内,另一端装有一小滑轮 B.一轻绳的一端 C 固定于墙壁上,另一端跨过滑轮后悬挂一质量 $m=10\text{kg}$ 的重物,$\angle CBA=30°$,如图 3-1 所示,则滑轮受到绳子的作用力大小为(g 取 10m/s^2)( )

更多资料下载关注微信公众号 学习第一线 赠送5000G学习大礼包

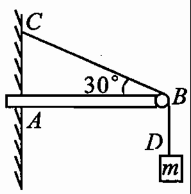


图 3-1

A. 50N　　B. $50\sqrt{3}$N

C. 100N　　D. $100\sqrt{3}$N

【巧解】 绳子对滑轮有两个力的作用,即绳子 BC 有斜向上的拉力,绳子 BD 有竖直向下的拉力,故本题所求的作用力应该为以上这两个力的合力.可用力的合成法求解.

因同一根绳张力处处相等,都等于物体的重力,即 $T_{BC}=T_{BD}=mg=100\text{N}$,而这两个力的夹角又是特殊角 120°,用平行四边形定则作图,可知合力 $F_合=100\text{N}$,所以滑轮受绳的作用力为 100N.方向与水平方向成 30°角斜向下.

【答案】 C

例2 如图 3-2 所示,一质量为 m 的物块,沿固定斜面匀速下滑,斜面的倾角为 θ,物块与斜面间的动摩擦因数为 μ,则斜面对物块的作用力大小及方向依次为( )

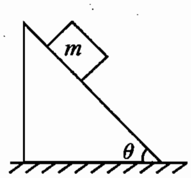


图 3-2

A. $mg\sin\theta$,沿斜面向下

B. $mg\sin\theta$,沿斜面向上

C. $\mu mg\cos\theta$,垂直斜面向下

D. mg,竖直向上

【巧解】 斜面对物块有两个力的作用,一个是沿垂直斜面向上支持力 N,另一个是沿斜面向上的摩擦力 f,故本题所求的作用力应该为以上这两个力的合力.可用力的合成法求解.

物块共受三个力作用:重力 mg、支持力 N、摩擦力 f;由平衡条件可知,这三个力的合力为 0,即支持力 N、摩擦力 f 的合力与重力 mg 等大反向.故答案 D 选项正确.

【答案】 D

例3 如图 3-3 所示,地面上放有一个质量为 m 的物块,现用斜向上的力 F 拉物块,物块仍处于静止状态,则拉力 F 与物块所受到的摩擦力 f 的合力方向为( )

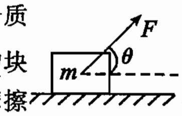


图 3-3

A. 斜向左上　　B. 斜向右上

C. 竖直向上　　D. 条件不足,无法判断

【巧解】 物块共受四个力作用,重力 G、拉力 F、摩擦力 f 以及支持力 N,其受力图如图 3-4 所示.我们可以用力的合成法,把四力平衡转化成二力平衡:即 F 与 f 合成,G 与 N 合成.G 与 N 的合力一定竖直向下,故 F 与 f 的合力一定竖直向上.故答案 C 正确.

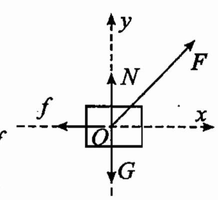


图 3-4

【答案】 C

巧练1 如图 3-5 所示,A、B 两小球穿在水平放置的细杆上,相距为 d,两小球各用一根长也是 d 的细绳连接小球 C,三个小球的质量均为 m,整个系统处于静止状态.则杆对小球 A 的作用力大小是( )

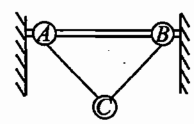


图 3-5

A. 1.5mg　　B. mg　　C. $\frac{\sqrt{3}}{6}$mg　　D. $\frac{\sqrt{21}}{3}$mg

巧练2 如图 3-6 所示,在倾角为 $\theta=30°$ 的粗糙斜面上放有一重为 G 的物体,现用与斜面底边平行的力 $F=G/2$ 推物体,物体恰能沿斜面作匀速直线运动,则物体与斜面间的动摩擦因数为( )

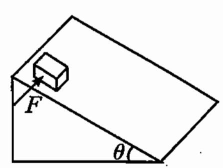


图 3-6

A. 0.5　　B. 0.2

C. $\frac{\sqrt{6}}{3}$　　D. $\frac{\sqrt{3}}{2}$

四、力的分解法

由一个已知力求解它的分力叫力的分解.力的分解是力的合成的逆过程,也同样遵循平行四边形法则.由平行四边形法则可知,力的合成是惟一的,而力的分解则可能多解.但在处理实际问题时,力的分解必须依据力的作用效果来进行,答案同样是惟一的.

利用力的分解法解题时,先找到要分解的力,再找这个力的作用效果.根据作用效果确定两个分力的方向,然后用平行四边形定则求这两个分力.

例1　刀、斧、凿、刨等切削工具都叫劈,劈的截面是一个三角形,如图4-1所示,设劈的截面是一个等腰三角形,劈背的宽度是d,劈的侧面的长度是L.使用劈的时候,在劈背上加力F,则劈的两侧面对物体的压力F_1、F_2为(　　)

A. $F_1=F_2=F$　　　　B. $F_1=F_2=(L/d)F$

C. $F_1=F_2=(d/L)F$　　D. 以上答案都不对

【巧解】　由于F的作用,使得劈有沿垂直侧面向外挤压与之接触物体的效果,故所求的F_1、F_2大小等于F的两个分力,可用力的分解法求解.如图4-2所示,将F分解为两个垂直于侧面向下的力F_1'、F_2',由对称性可知,$F_1'=F_2'$,根据力的矢量三角形$\triangle OFF_1$与几何三角形$\triangle CAB$相似,故可得:$F_1'/L=F/d$,所以$F_1'=F_2'=LF/d$,由于$F_1=F_1'$,$F_2=F_2'$故$F_1=F_2=(L/d)F$.

【答案】　B

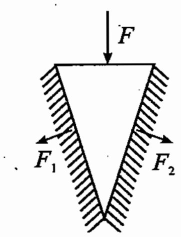


图4-1

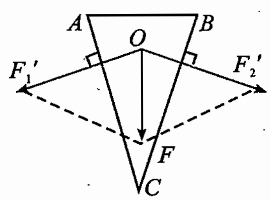


图4-2

例2　如图4-3所示,两完全相同的小球在挡板作用下静止在倾角为θ的光滑斜面上,甲图中挡板为竖直方向,乙图中挡板与斜面垂直,则甲、乙两种情况下小球对斜面的压力之比是(　　)

A. 1∶1　　B. $1:\cos^2\theta$　　C. $1:\sin^2\theta$　　D. $1:\tan\theta$

【巧解】　由于小球重力G的作用,使得小球有沿垂直侧面向下挤压斜面及沿垂直挡板方向挤压挡板的效果,故所求的小球对斜面的压力大小等于重力G沿垂直斜面方向的分力,可用力的分解法求解.如图所示,甲情况下将G分解G_2,乙情况下将G分解G_2'.所求压力之比即为$G_1:G_1'$.而$G_1=G/\cos\theta$,$G_1'=G\cos\theta$,故可得压力之比$G_1:G_1'=1:\cos^2\theta$.

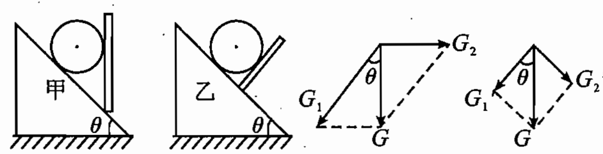


图4-3

【答案】　B

例3　如图4-4所示,用两根轻绳将质量为m的物块悬挂在空中.已知ac和bc与竖直方向的夹角分别为30°和60°,则ac绳和bc绳中的拉力分别为(　　)

A. $\frac{\sqrt{3}}{2}mg,\frac{1}{2}mg$　　　B. $\frac{1}{2}mg,\frac{\sqrt{3}}{2}mg$

C. $\frac{\sqrt{3}}{4}mg,\frac{1}{2}mg$　　　D. $\frac{1}{2}mg,\frac{\sqrt{3}}{4}mg$

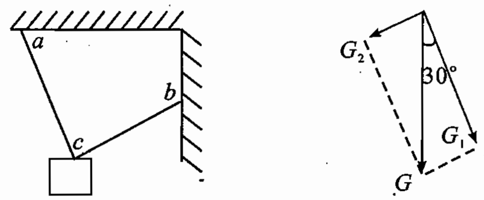


图4-4

【巧解】　由于小球重力G的作用,使得小球有沿两绳方向斜向下拉紧绳的效果,故两绳的拉力大小等于重力的两个分力.力的分解图如上所示,由几何知识可得:$T_{ac}=G_1=mg\cos30°$,$T_{bc}=G_2=mg\cos60°$.

【答案】　A

例4　如图4-5所示,小车上固定着一根弯成θ角的曲杆.杆的另一端固定一个质量为m的球.小车以加速度a水平向右运动,则杆对球的弹力大小及方向是(　　)

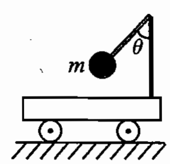


图4-5

A. mg,竖直向上

B. $\sqrt{(mg)^2+(ma)^2}$,沿杆向上

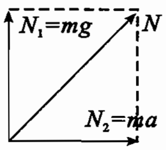
C. ma,水平向右

D. $\sqrt{(mg)^2+(ma)^2}$,与水平方向成$\arctan\frac{g}{a}$角斜向上

【巧解】　本题中,小球只受重力mg和杆对球的弹力N两个力作用,杆对球的弹力N有两个作用效果:竖直向上拉小球及水平向右拉小球.因两个作用效果是明确的,故可用力的分解法来求解.

杆竖直向上拉小球,使小球在竖直方向上保持平衡,故竖直向上的分力$N_1=mg$;杆水平向右拉小球,使小球获得向右的加速度,

故水平向右的分力 $N_2 = ma$. 由几何知识可知杆对球的弹力与水平方向的夹角为 $\arctan\frac{N_1}{N_2} = \arctan\frac{g}{a}$,故答案 D 选项正确.



【答案】 D

巧练1 如图 4-6 所示,用一根细绳把重为 G 的小球,挂在竖直光滑的墙上,改用较长的细绳,则小球对绳的拉力 T 及对墙的压力 N 将( )

A. T 减小,N 增大　　B. T 增大,N 减小

C. T 减小,N 减小　　D. T 增大,N 增大

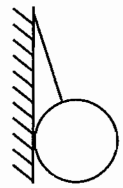


图 4-6

巧练2 如图 4-7 所示,轻绳 AC 与水平面夹角 $\alpha = 30°$,BC 与水平面的夹角 $\beta = 60°$,若 AC、BC 能承受的最大拉力不能超过 100N,设悬挂重物的绳不会拉断,那么重物的重力 G 不能超过( )

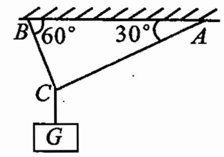


图 4-7

A. 100N　　B. 200N

C. $100\sqrt{3}$N　　D. $\frac{200\sqrt{3}}{3}$N

五、力的正交分解法

力的正交分解法:即是把力沿着两个经选定的互相垂直的方向作分解. 其目的是便于运用普通代数运算公式来解决矢量的运算. 坐标轴的选取是以使问题的分析简化为原则. 通常选取坐标轴的方法是:选取一条坐标轴与物体运动的速度方向或加速度的方向相同(包括处理物体在斜面上运动的问题),以求使物体沿另一条坐标轴的加速度为零,这样就可得到 外力在该坐标轴上的分量之和为零,从而给解题带来方便. 物体受力个数较多时,常用正交分解法来解.

例1 如图 5-1 所示,用与水平成 $\theta = 37°$ 的拉力 $F = 30$N,拉着一个重为 $G = 50$N 的物体在水平地面上匀速前进,则物体与地面间的动摩擦因数 μ 为( )

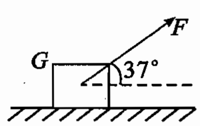


图 5-1

A. 0.2　　B. 0.3

C. 0.6　　D. 0.75

【巧解】 物体受四个力作用而匀速,这四个力分别为重力 G、拉力 F、地面的支持力 N、地面的摩擦力 f. 由于受多个力作用,用正交分解法来解题较为简单.

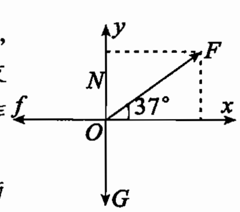


图 5-2

怎样选取坐标轴呢? 选水平方向与竖直方向为坐标轴,只需分解 F,最简单. 如图 5-2 所示,将 F 进行正交分解,由平衡条件可得:

$F_{x合} = F\cos\theta - f = 0$

$F_{y合} = F\sin\theta + N - G = 0$

而 $f = \mu N$

化简可得:$\mu = \frac{F\cos\theta}{G - F\sin\theta} = \frac{30 \times 0.8}{50 - 30 \times 0.6} = 0.75$

【答案】 D

例2 如图 5-3 所示,重为 $G = 40$N 的物体与竖直墙间的动摩擦因数 $\mu = 0.2$,若受到与水平线成 45°角的斜向上的推力 F 作用而沿竖直墙匀速上滑,则 F 为多大?

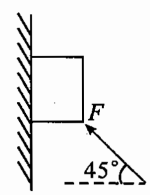


图 5-3

【巧解】 物体受四个力作用而匀速上滑,这四个力分别为重力 G、推力 F、墙的支持力 N、墙的摩擦力 f. 由于受多个力作用,用正交分解法来解题较为简单.

怎样选取坐标轴呢? 选水平方向与竖直方向为坐标轴,只需分解 F,最简单. 如图 5-4 所示,将 F 进行正交分解,由平衡条件可得:

$F_{x合} = N - F\cos45° = 0$

$F_{y合} = F\sin45° - G - f = 0$

而 $f = \mu N$

化简可得:$F = \frac{G}{(\sin45° - \mu\cos45°)} = 71$N

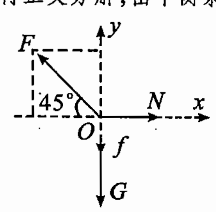


图 5-4

【答案】 推力 F 为 71N.

例3 如图 5-5 所示,物体 Q 放在固定的斜面 P 上,Q 受到一水平作用力 F,Q 处于静止状态. 这时 Q 受到的静摩擦力为 f,现使 F 变大,Q 仍静止,则可能( )

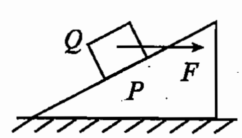


图 5-5

A. f 一直变大　　B. f 一直变小

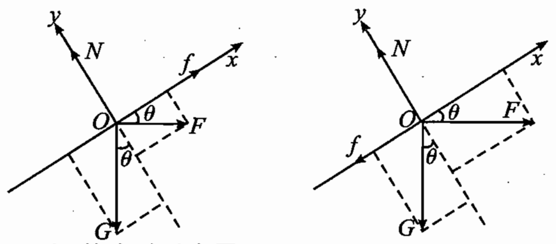
C. f 先变大,后变小　　D. f 先变小后变大

【巧解】 隔离 Q,Q 物体受重力 G、支持力 N,外力 F 及摩擦力 f 四个力而平衡,但 f 的方向未知(当 F 较小时,f 沿斜面向上;当 F 较大时,f 沿斜面向下),其受力图如图 5-6 所示.

怎样选取坐标轴呢? 选水平方向与竖直方向为坐标轴,需分解

N 与 f，而选沿斜面方向与竖直斜面方向为坐标轴，需分解 G 与 F. 都需要分解两个力，但 N、f 是未知力，G、F 是已知力，分解已知力要简单些，故应选沿斜面方向与竖直斜面方向为坐标轴.

如图 5－6 所示，将 G、F 进行正交分解，由平衡条件可得：当 F 较小时有：$mg\sin\theta-F\cos\theta-f=0$ 即 $f=mg\sin\theta-F\cos\theta$ 随着 F 的增大，f 将减小. 当 F 较大时有：$mg\sin\theta+f-F\cos\theta=0$ 即 $f=F\cos\theta-mg\sin\theta$ 随着 F 的增大，f 将增大. 故当 F 的初始值较小时，f 先减小后增大；当 F 的初始值较大时 f 一直增大.



当F较小时受力图　　当F较大时受力图

图 5－6

【答案】 A、D

巧练 1　如图 5－7 所示，斜面体 P 固定在水平面上，斜面体的倾角为 $\theta=37°$，斜面体上有一重为 $G=60$N 的木块 Q，用 $F=10$N 的水平力推木块 Q，Q 恰能沿斜面匀速下滑，则木块 Q 与斜面体 P 间的摩擦力大小及摩擦因数分别是多少？

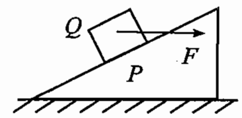


图 5－7

巧练 2　如图 5－8 所示，有一直角支架 AOB，AO 水平放置，表面粗糙，OB 竖直向下，表面光滑，AO 上套有小环 P，OB 上套有小环 Q，两环质量均为 m，两环间由一根质量可忽略，不可伸长的细绳相连，并在某一位置平衡，如图 1－28 所示. 现将 P 环向左移一小段距离，两环再将达到平衡，那么将移动后的平衡状态和原来的平衡状态比较，AO 杆对 P 环的支持力 N 和摩擦力 f 的变化情况是：(　　)

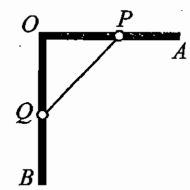


图 5－8

A. N 不变，f 变大　　B. N 不变，f 变小
C. N 变大，f 变大　　D. N 变大，f 变小

六、加速度分解法

更多资料干货 关注微信公众号 学习第一线 赠送5000G学习大礼包

加速度分解法，即是把加速度进行分解的解题方法. 在解决叠加体的有关力学问题时，部分学生总习惯于在对物体进行受力分析后，将力进行分解后计算. 在某些问题中，此种方法显得繁杂费时，而若能将物体的加速度进行分解，对分析问题、提高解题速度将大有裨益. 下面举例分析.

例 1　如图 6－1 所示，质量为 m_2 的物体 B 叠放在质量为 m_1 的物体 A 之上，它们一起沿固定的斜面加速下滑，两物体间无相对运动，已知，A、B 之间的摩擦系数为 μ_1，A 物与斜面之间的摩擦系数为 μ_2，斜面倾角为 θ，试分析 B 物是否受到摩擦力的作用，若有，其大小和方向如何？

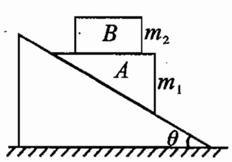


图 6－1

【巧解】　因 A、B 间无相对运动，故可视为一个整体，该整体的加速度为：$a=g(\sin\theta-\mu_2\cos\theta)$，方向沿斜面向下，为了分析 B 物的静摩擦力，现将加速度 a 分解为水平方向和竖直方向的两个分量，如图 6－2 所示：

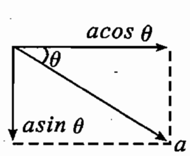


图 6－2

即 $a_{水平}=a\cos\theta$，$a_{竖直}=a\sin\theta$

那么 B 物体也应具有水平向右的加速度 $a_{水平}$，而产生此加速的力只能是 A 物所施加给 B 的静摩擦力，其大小可由牛顿第二定律求得：

$f=m_2a_{水平}=m_2a\cos\theta=m_2g\cos\theta(\sin\theta-\mu_2\cos\theta)$.

【答案】　有；大小为 $m_2g\cos\theta(\sin\theta-\mu_2\cos\theta)$；方向水平向右

例 2　如图 6－3 所示，质量为 m 的滑块 A 以一定的初速度沿粗糙斜面体 B 向上滑，然后又返回，B 与地面间没有相对运动，则在这一过程中(　　)

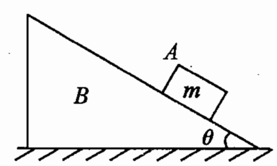


图 6－3

A. B 对地面间的摩擦力大小、方向都变化.
B. B 对地面间的摩擦力大小不变、方向改变.
C. B 对地面间的摩擦力大小变化，方向不变.
D. B 对地面间的摩擦力大小、方向都不变.

【巧解】　此题主要讨论 B 物受地面的摩擦力的变化情况，因此对 A 物或 B 物主要是分析其水平方向的受力情况，因此此题宜用“分解加速度法”.

设 A 与斜面间的摩擦系数为 μ，斜面的倾角为 θ.

对 A 物，上滑时 $a'=g(\sin\theta+\mu\cos\theta)$，方向沿斜面向下；下滑时 $a=g(\sin\theta-\mu\cos\theta)$，方向沿斜面向下. 现将加速度分解为水平方向与竖直方向，则水平方向的分量为：

$a'_{水}=a'\cos\theta=g(\sin\theta+\mu\cos\theta)\cdot\cos\theta$

$a_{水}=a\cos\theta=g(\sin\theta-\mu\cos\theta)\cdot\cos\theta$.

无论 A 物上滑还是下滑，A 物都具有水平向右的加速度分量，因此 A 物受 B 物的作用力（其实是支持力和摩擦力的合力，有人称为“全反力”）具有水平向右的分量，大小分别为 $ma'_{水}$ 和 $ma_{水}$，则 A 物给 B 物的作用力应为大小相同的水平向左的分量，

所以 B 物受地面的静摩擦力的方向始终向右，而大小分别为 mg $(\sin\theta+\mu\cos\theta)\cos\theta$ 和 $mg(\sin\theta-\mu\cos\theta)\cos\theta$.

【答案】 C

例3 如图 6－4 所示，A、B 间用跨过光滑定滑轮的绳子连接，A 质量为 m_1，B 质量为 m_2，直角光滑斜面的倾角为 θ. 静止释放 A、B，则物体 A 下滑，物体 B 上升，斜面体静止，滑轮与绳的质量不计，摩擦不计，求 A 在下滑过程中（B 物体还没有碰到滑轮）斜面体作用于地面凸出部分的水平压力？

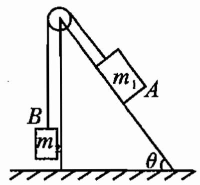


图 6－4

【巧解】 以 A、B 系统为对象，设其下滑时加速度为 a，则 $m_1 g\sin\theta-m_2 g=(m_1+m_2)a$，

$$\therefore a=\frac{m_1\sin\theta-m_2}{m_1+m_2}g$$

下面用“分解加速度法”解：

将 A 物的加速度 a 分解到水平方向上，如图 6－5 所示，有：

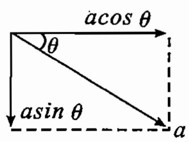


图 6－5

$a_{水平}=a\cdot\cos\theta$；$a_{竖直}=a\cdot\sin\theta$

对 A、B 及斜面系统，水平方向合力由地面凸出部分的水平压力 F 提供 $F=m_2\cdot$

$$0+m_1\cdot a_{水平}+M_{斜面体}\cdot 0=\frac{m_1\sin\theta-m_2}{m_1+m_2}m_1 g\cos\theta$$

由牛顿第三定律得：所求的斜面体作用于地面凸出部分的水平压力为：

$$F'=F=\frac{m_1\sin\theta-m_2}{m_1+m_2}m_1 g\cos\theta$$

可以看出，“分解加速度法”无须求出两物体间的相互作用力，避免了复杂的运算.

【答案】 $\frac{m_1\sin\theta-m_2}{m_1+m_2}m_1 g\cos\theta$

巧练 如图 6－6 所示，电梯与水平面的夹角为 θ，人的质量为 m，当电梯以恒定的加速度 a 启动时，人站在电梯的某一台阶上相对电梯静止. 则电梯对人的支持力 N 是多少？电梯对人是否有摩擦力？如有，是多少？

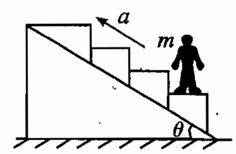


图 6－6

七、加速度合成法

根据力的独立性原理，一个物体若受到多个力的作用，每一个力都会产生一个加速度，则物体的实际加速度就是各个分加速度的合加速度. 一般情况下，我们习惯于先求合力，再求合加速度. 加速度合成法即由分加速度求合加速度的方法. 在某些情况下，我们用加速度合成法来解题会更简单.

更多资料干货 关注微信公众号 学习第一线 赠送5000G学习大礼包

例1 一个物体静止于光滑水平面上，受到一个水平方向的恒定拉力 F 后，以加速度 $a_0=1\text{m/s}^2$ 做匀加速直线运动，从某时刻起，物体又受到另一个与原来拉力 F 方向垂直，大小为 2F 的水平拉力作用，则物体运动的加速度及运动情况是（　　）

A. $a=3m/s^2$，物体仍做直线运动

B. $a=3m/s^2$，物体由直线运动变为曲线运动

C. $a=\sqrt{5}m/s^2$，物体仍做直线运动

D. $a=\sqrt{5}m/s^2$，物本由直线运动变为曲线运动

【巧解】 原来物体只有一个加速度 $a_0=1\text{m/s}^2$，当 2F 作用后，必然产生第二个加速度，其大小 $a_1=2a_1=2\text{m/s}^2$，两个加速度相互垂直，故合加速度为 $a=\sqrt{5}\text{m/s}^2$，而合加速度的方向必然与初速方向不一致，故物体由直线运动变为曲线运动.

【答案】 D

例2 如图 7－1 所示，一长为 L 的轻绳，一端系在天花板上的 O 点，另一端系一小球，开始将小球拉到与 O 点等高的 A 点，并使绳拉直但无张力，无初速释放小球，当小球运动到 B 点时，求小球的加速度大小？（已知 OB 方向与竖直方向的夹角为 $\beta=60°$）

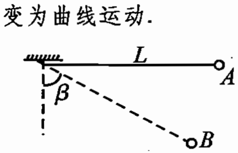


图 7－1

【巧解】 小球从 A 到 B 由机械能守恒得：

$$mgL\cos\beta=\frac{1}{2}mv^2\Rightarrow v=\sqrt{2gL\cos\beta}=\sqrt{gL}$$

通过 B 点时的向心加速度 $a_1=\frac{v^2}{R}=\frac{v^2}{L}=g$

通过 B 点时还有切向加速度，向心加速度由绳的拉力与重力沿绳方向分力的合力提供，而重力的另一个分力则产生切向加速度. 故切向加速度 $a_2=\frac{mg\sin\beta}{m}=\frac{\sqrt{3}}{2}g$.

小球通过 B 点时的加速度为 $a=\sqrt{a_1^2+a_2^2}=\frac{\sqrt{7}}{2}g$.

【答案】 $a=\frac{\sqrt{7}}{2}g$

巧练 如图 7－1 所示，一长为 L 的轻绳，一端系在天花板上的 O 点，另一端系一小球，开始将小球拉到与 O 点等高的 A 点，并使绳拉直但无张力，无初速释放小球，则小球从释放开始到经过最低点的过程中，小球的加速度的大小变化情况是（　　）

A. 从零开始不断增大 2g

B. 从 g 开始不断增大

C. 先从 g 减小后增大

D. 整个过程中的最大加速度为 2g

八、速度分解法

速度分解法即将速度进行分解，进而求解的方法. 速度的分解，与力的分解一样，都遵从平行四边形定则. 在分解时应根据运动的效果确定两分运动的方向，然后由平行四边形定则确定分速度的大小. 合运动与分运动具有等时性、独立性、等效性. 在已知合运动的速度求分运动的速度时，通常用速度分解法来求解.

例1　小船在静水中的速度为 v，今小船要渡过一条河流，渡河时小船垂直河岸划行，若小船划行至河中间时，河水流速忽然增大，则渡河时间与预定的时间相比将(　　)

A. 增大　　B. 不变　　C. 减小　　D. 无法确定

【巧解】　根据合运动及分运动的独立性原理可知，水流速度的增大，只是影响小船在平行河岸的分运动，垂直河岸的分运动仍是独立的，所用时间不变. 故渡河时间没变，只是沿河岸方向的位移增大. 故 B 选项正确.

【答案】　B

例2　如图 8－1 所示，在倾角为 $\theta=30°$ 的斜面顶端 A 处，沿水平方向以初速度 $v_0=10\text{m/s}$ 抛出一个球，恰好落在斜面底端的 B 点，求小球在空中的运动时间及 A、B 间的距离.

更多资料……学习第一线……5000G学习大礼包

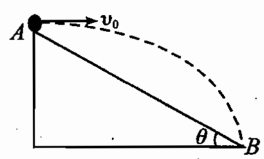


图 8－1

【巧解】　将平抛运动分解为：水平方向匀速运动与竖直方向自由落体两个分运动，故有水平方向上有：$S_{AB}\cos\theta=v_0\cdot t$

竖直方向上有：$S_{AB}\sin\theta=\frac{1}{2}gt^2$

化简可得：$t=\frac{2\sqrt{3}}{3}\text{s}$；$S_{AB}=\frac{40}{3}\text{m}$

【答案】　$t=\frac{2\sqrt{3}}{3}\text{s}$；$S_{AB}=\frac{40}{3}\text{m}$

例3　如图 8－2 所示，一个人通过固定在河岸上的一个定滑轮，用绳子拉水中的小船，人向前匀速运动的速度是 v_0，当船运动到绳与水平方向成 θ 角时，船速的大小是多少？

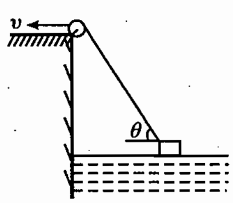


图 8－2

【巧解】　人向前走的速度，也就是岸上人和滑轮之间的绳子伸长的速度，这个速度应看成是小船向前运动速度的一个分速度. 小船实际运动的方向为合运动的方向，合运动产生两个效果：一是使船与滑轮间的绳缩短(即另一端人与滑轮间的绳子伸长)；二是使 θ 角变大，因此，把合速度 v 正交分解为沿绳方向的速度 $v_1=v\cos\theta$(即人前进的速度)和垂直绳方向的速度 $v_2=v\sin\theta$(即使绳摆动，使角度 θ 增大的速度). 故有 $v_1=v_0$

船的速度 $v=v_1/\cos\theta=v_0/\cos\theta$

【答案】　$v=v_0/\cos\theta$

例4　如图 8－3 所示，竖直圆筒内壁光滑，半径为 R，顶部有入口 A，在 A 的正下方 h 远处有出口 B，一质量为 m 的小球从入口 A 沿圆筒内壁切线方向水平射入圆筒内，要使球从出口 B 飞出，小球进入入口 A 处的速度 v_0 应满足什么条件？

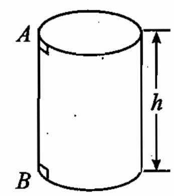


图 8－3

【巧解】　小球在圆筒内的运动轨迹为螺旋状，这个运动可分解为：竖直方向的自由落体运动与水平方向的匀速圆周运动. 竖直方向的自由落体运动时间为：$t_1=\sqrt{\frac{2h}{g}}$ 水平方向的匀速圆周运动时间为：$t_2=nT=n\frac{2\pi R}{v_0}$ 因两分运动时间相等，故有：$t_1=t_2$，化简可得：$v_0=n\pi R\sqrt{\frac{2g}{h}}$ $(n=1、2、3\cdots)$

【答案】　$v_0=n\pi R\sqrt{\frac{2g}{h}}$ $(n=1、2、3\cdots)$

巧练1　某河宽 $d=200\text{m}$，水流速度为 1.8m/s，一小船过河时，船头指向不变，即船身方向与河岸方向的夹角不变，这个夹角为 $\beta=30°$，船在静水中的速度为 $v=2\text{m/s}$，则小船过河所用时间为________ s

巧练2　如图 8－4 所示，长为 L 的直棒一端可绕固定轴 O 转动，另一端 A 搁在升降平台上，平台以速度 v 匀速上升，当棒与竖直方向的夹角为 β 时，棒的角速度为多少？

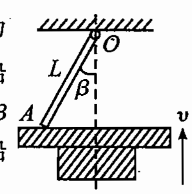


图 8－4

九、速度合成法

速度合成法即将速度进行合成，进而求解的方法. 速度的合成，与力的合成一样，都遵从平行四边形定则. 同一直线上的两分运动的合成：同向相加，反向相减；不在同一直线上，按平行四边形定则进行合成. 合运动与分运动具有等时性、独立性、等效性. 在已知分运动的速度求合运动的速度时，通常用速度合成法来求解.

例1 关于互成角度的两个初速不为零的匀变速直线运动的合运动，下述说法正确的是(　　)

A. 一定是直线运动

B. 一定是曲线运动

C. 可能是直线运动也可能是曲线运动

D. 一定是匀变速运动

【巧解】 两直线运动的合成，合运动的性质和轨迹由分运动的性质及合初速度与合加速度的方向关系决定，两个匀变速直线运动的加速度一定是恒定的，所以其合加速度也是恒定的，因此合运动一定是匀变速运动，两分运动的初速方向是确定的，其合初速度也是一定的，但与合加速度的方向不一定相同，若相同就是直线运动，若不同就是曲线运动. 故选项C、D正确.

【答案】 C、D

更多资料下载关注微信公众号 学习第一线·赠送5000G学习大礼包

例2 在购物大楼里，人通过自动扶梯从一楼上二楼，如果人站在匀速运动的扶梯上，经时间 t_1 恰好到达楼上，如果自动扶梯不动，而人匀速沿扶梯上行经时间 t_2 到达楼上；若自动扶梯正常运行，人也沿扶梯上行，则到达楼上所用时间为________.

【巧解】 设从一楼沿扶梯到二楼的距离为 L，则扶梯匀速运动的速度 $v_1 = L/t_1$，而人匀速沿扶梯上行的速度 $v_2 = L/t_2$，若自动扶梯正常运行，人也沿扶梯上行，则人的实际速度 v 是 v_1 与 v_2 的合速度. 故有 $v = v_1 + v_2$，则到达楼上所用时间为 $t = \frac{L}{v} = \frac{L}{v_1 + v_2} = \frac{L}{L/t_1 + L/t_2} = \frac{t_1 t_2}{t_1 + t_2}$.

【答案】 $t = \frac{t_1 t_2}{t_1 + t_2}$

例3 一小船正沿河岸朝上游方向航行，小船在静水中的航行速度为 $v_1 = 4\text{m/s}$，已知水流速度为 $v_2 = 1\text{m/s}$，在某时刻小船正从甲桥下通过，在甲桥正上游方向300m远处的水面上有一座乙桥，问要经过多少时间，小船才能到达乙桥的正下方？

【巧解】 小船参与了两个运动：一是在静水中向上游的航行，其速度大小为 $v_1 = 4\text{m/s}$；二是随水向下游漂流，其速度大小为 $v_2 = 1\text{m/s}$，故其合速度为 $v = v_1 + v_2 = 4 + (-1) = 3\text{m/s}$，故所用时间为：$t = s/v = 300/3 = 100\text{s}$

【答案】 $t = 100\text{s}$

例4 两根光滑的杆互相垂直地固定在一起，上面分别穿有一个小球. 小球a、b间用一细直棒相连，如图9－1，当细直棒与竖直杆夹角为α时，求两小球实际速度之比 $v_a : v_b$

【巧解】 小球a、b实际运动的速度 v_a，v_b 是相对于地的速度，将 v_a，v_b 分别沿连接两球的杆ab方向和垂直于杆ab方向分解，即相对ab运动方向的速度相等.

a、b沿杆的分速度分别为 $v_a\cos\alpha$ 和 $v_b\sin\alpha$，$\therefore v_a : v_b = \tan\alpha : 1$

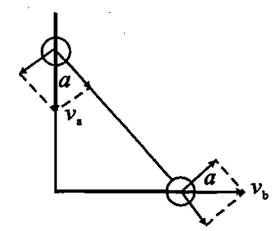


图9－1

【答案】 两小球实际速度之比 $v_a : v_b = \tan\alpha : 1$

巧练1 一个物体以9.8m/s的水平初速度抛出后，经3s后落地，则落地时的速度方向与水平方向的夹角 θ 是多少？

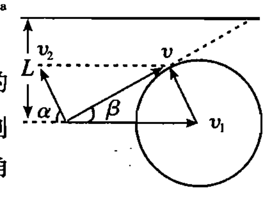


图9－2

巧练2 一个物体受几个外力共同作用下恰好做匀速直线运动，如果突然撤去其中一个力，而其它力不变，则这个物体不可能做(　　)

A. 匀速直线运动　　B. 匀加速直线运动

C. 匀减速直线运动　　D. 匀变速曲线运动

十、图象法

因物理图象可直观地反映两个物理量间的关系，故用图象法解题往往较简单.

图象的功能

①可描述物理规律：有的图象题，要求学生用图象来正确地描述物理规律，通过这种题目的训练，可加深对物理规律的理解.这类题要求同学们有较扎实的基本功和较强的作图技能.

②可借助图象分析物理过程：某些题(特别是选择题)在进行定性分析时，如能借助图象分析物理过程，常能使复杂问题变得简单，解题过程变得简捷，达到"事半功倍"的效果.

③可推导论证新规律：主要是利用图象结合几何知识推证新规律.

④可分析实验问题：在高考要求的实验中，几乎每个实验都或多或少地涉及到图象的应用，主要体现在求未知物理量和误差分析两方面：定量计算的图象仅限于直线型图象；定性分析各种图象，主要体现在误差分析方面.

⑤可用图象求解其他方法难以求解的问题.

有些物理问题或因受中学生数学知识的限制不能求解，或者用其他方法难以求解，都可用图解的形式加以分析，许多题因此变得简便.

更多资料干货 关注微信公众号 学习第一线 赠送5000G学习大礼包

图象解题方法综述：

(1)弄清纵、横坐标所代表的物理量.

对于函数图象，首先要看纵、横坐标的物理量符号，弄清所表示的是哪两个量之间的关系，再看物理量的单位和标度、纵横坐标交点坐标值，搞清每小格代表的量是多少，然后才看图象的形状，根据它的特点和变化分析其含义.有些图象的形状相同或相似，但由于纵、横坐标代表的物理量不同，则图象的含义也不同.

(2)图象的几个观察点.

①图象的交点

两图象相交，有一组状态量同时适合所描述的两个不同对象，若是位移图象，两图线的交点表示两物体相遇；若是速度图象，且甲、乙两物体同时同地运动，两图线的交点表示某时刻，两物体有相同的速度，但不是相遇，而恰恰此时两物体相距最远.

②图象的截距

纵横截距往往反映物理过程中的某些特定状态，如匀变速运动的速度图线与纵轴的截距表示物体运动的初速度.

③图象的斜率

物理图象的斜率有一定的物理意义，如位移—时间图象的斜率表示物体运动的速度，速度—时间图象的斜率表示物体的加速度，振动图象 $x-t$ 切线的斜率表示质点的速度，LC 振动电路中电容器极板上电量随时间变化的图象 $q-t$ 切线的斜率表示回路中的振荡电流.

④图象的"面积"

物理图象中的"面积"有两种，一种是以图象上某点的横、纵坐标为邻边的矩形"面积"，它的意义是这一状态的两个物理量的乘积；如路端电压随电流变化的图象上面积"S"表示路端电压为 U_1 时的电源的输出功率，另一种是图线与横纵轴所围的"面积"，它反映某物理量对时间、空间等的积累，一般规定横轴上方的"面积"为正，下方为负，无论该"面积"表示的是矢量还是标量，都应取代数和，用这种图象的"面积"解决变量问题很有效，分析复杂的运动过程常利用它.

例1　如图 10－1 所示，物体从 h 高处由静止开始滑下，第 1 次经过光滑斜面 AB 滑至底端的时间为 t_1，第 2 次经过光滑曲面 AC 至底端时间为 t_2，两次经过的路程相等，则 t_1、t_2 的大小关系是(　　)

A. $t_1>t_2$

B. $t_1<t_2$

C. $t_1=t_2$

D. 条件不足，无法比较

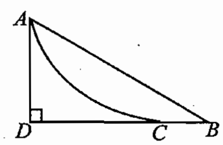


图 10－1

【巧解】　物体沿斜面下滑做匀加速直线运动，其 $v-t$ 图象可定性地描述为图 10－2 中的图线 1，沿曲面下滑时，由加速度 $a=g\sin\theta$，可知开始阶段物体的加速度比在斜面上的加速度大，即图线的斜率大，后来减小，且小于在斜面上的加速度，即图线的斜率小，注意到两个运动中机械能都守恒，由 $mgh=\frac{1}{2}mv_1^2$，得物体到达底端的速度大小相等，又路程相等，即图线下的面积相等，物体沿曲面下滑的 $v-t$ 图象可定性地描绘为图 10－2 中的图线 2，由图可知，$t_1>t_2$，应选 A.

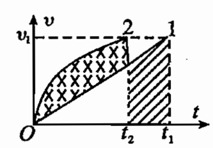


图 10－2

物体沿曲面做的是变加速运动，物理过程较复杂，难以建立方程求出运动时间 t_2，运用 $v-t$ 图线进行定性分析，则能顺利比较 t_1、t_2 的大小，需要指出的是，本例的 $v-t$ 图象是速率图象，图线下的面积表示路程，不表示位移.

【答案】　A

例2　列车在恒定功率的机车牵引下，从车站出发行驶 5 分钟速度达到 72 千米/小时，那么这段时间内列车行驶的距离(　　)

A. 小于 3km　　B. 等于 3km

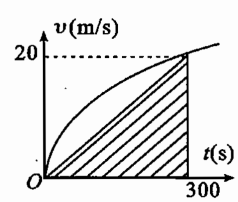


图 10－3

C. 大于 3km　　D. 不能确定

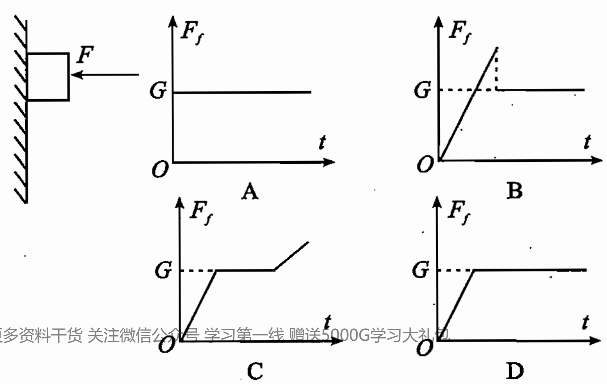
【巧解】 72 千米/小时 = 20m/s，5 分钟 = 300 秒，列车以恒定功率起动，由 $P=Fv$ 可知随着 v 增大 F 将减小，加速度也减小，画出 $v-t$ 图象（如图 10－3 所示）. 图象下“面积”等于列车的位移，它大于画阴影的三角形的“面积”，所以应选 C.

【答案】 C

例3 如图 10－4 所示，把一重为 G 的物体，用一水平推力 $F=kt$（k 为恒量，t 为时间）压在竖直的足够高的平整墙上，从 $t=0$ 开始物体所受摩擦力 F_f 随时间 t 的变化关系图正确的是（　　）

【巧解】 在开始的一小段时间内，水平推力 $F=kt$ 随着时间 t 的增加而增加，进而摩擦力 F_f 也增大，且摩擦力 $F_f=\mu F<mg$，故重物做加速度不断减小的加速运动；当 $F_f=\mu F=mg$ 时，加速度减小到零，速度最大，以后随时间 t 的增加，F 增加，摩擦力 F_f 增加，且摩擦力 $F_f=\mu F>mg$，重物做加速度不断增大的减速运动，当速度减小到零后，重物静止，摩擦力由原来的滑动摩擦力变为静摩擦力，且大小等于 mg. 故答案为 B.

【答案】 B



更多资料干货 关注微信公众号 学习第一线 赠送5000G学习大礼包

图 10－4

例4 一个小球从水平桌面正上方的一点无初速自由下落，与桌面经过多次碰撞后，最终静止在桌面上，图 10－5 所描述的是反映下列哪个物理量随时间的变化关系图（　　）

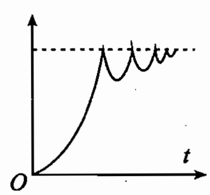


图 10－5

A. 位移　　B. 路程

C. 速度　　D. 速度的变化率

【巧解】 路程是物体运动的轨迹长度，只可能增大，不可能减小，故可排除 B 选项；在开始下落过程中速度与时间是线性关系（$v=gt$），故可排除 C 选项；速度的变化率大小等于加速度的大小，是一个不变的量，故可排除 D 选项；故答案为 A.

【答案】 A

例5 物体 A、B 都静止在同一水平面上，它们的质量分别为 m_A 和 m_B，与水平面之间的动摩擦因数分别为 μ_A 和 μ_B，现用平行于水平面的力 F 分别拉物体 A、B，得到加速度 a 和拉力 F 的关系图象分别如下图 10－6 中 A、B 所示. 则它们的质量 m_A 和 m_B 分别为多大？动摩擦因数 μ_A 和 μ_B 分别为多大？（$g=10m/s^2$）

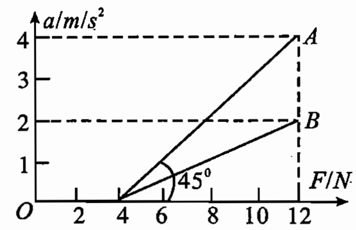


图 10－6

A. $m_A=3kg,m_B=6kg$　　B. $m_A=1kg,m_B=2kg$

C. $m_A=2kg,m_B=4kg$　　D. $\mu_A=0.2,\mu_B=0.1$

【巧解】 A、B 图线与横轴交点相同，表示 m_A 和 m_B 的加速度为零时，拉力大小相等，都为 4N，由二力平衡可得，m_A 和 m_B 所受滑动摩擦力大小都为 $f=4N$，当拉力 $F=12N$ 时，由图象可知，m_A 和 m_B 的加速度分别为 $a_A=4m/s^2$，$a_B=2m/s^2$，由牛顿第二定律（$F_合=F-f=ma$）可得 $m_A=2kg$，$m_B=4kg$. 再由滑动摩擦力公式 $f=\mu N=\mu mg$ 可得 $\mu_A=0.2$，$\mu_B=0.1$. 故答案为 C、D.

【答案】 C、D

例6 将电阻 R_1 与 R_2 分别接到同一电池组的两极时，两电阻消耗的电功率相同，电池组向两个电阻供电时的电流分别为 I_1 和 I_2，电池组内阻消耗的功率分别为 P_1 和 P_2，电池组的效率分别为 η_1 和 η_2，电阻两端的电压分别是 U_1 和 U_2，若已知 $I_1<I_2$，则有（　　）

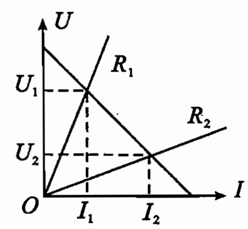


图 10－7

A. $R_1>R_2$　　B. $U_1>U_2$　　C. $\eta_1>\eta_2$　　D. $P_1>P_2$

【巧解】 依题意可画出电源的外特性曲线和两电阻 R_1 与 R_2 的伏安特性曲线，如图 10－7 所示，因 $U_1I_1=U_2I_2$，$I_1<I_2$，所以 R_1 与 R_2 的相对关系如图所示，$R_1>R_2$，$U_1>U_2$，故 A、B 两选项正确；又因电源的效率 $\eta=\frac{UI}{EI}=\frac{U}{E}$ 可知 $\eta_1>\eta_2$，C 选项正确；又 $P=I^2r$，故 $P_1<P_2$，D 选项错误.

【答案】 A、B、C

例7 如图 10－8 所示，$abcd$ 为一边长为 l、具有质量的刚性导线框，位于水平面内，bc 边中串接有电阻 R，导线的电阻不计，虚线表示一匀强磁场区域的边界，它与线框的 ab 边平行，磁场区域的宽度为 $2l$，磁感强度为 B，方向如图 10－9 所示，线框在一垂直于 ab 边的水平恒定拉力作用下，沿光滑水平面运动，直到通过磁场区域，已知 ab 边刚进入磁场时，线框便变为匀速运动，此时通过电阻 R 的电流大小为 i_0，试在图 10－10 的 $i-x$ 坐标上定性画出从导线框刚进入磁场到完全离开磁场的过程中，流过电阻 R 的电流 i 的大小随 ab 边的位置坐标 x 的变化曲线.

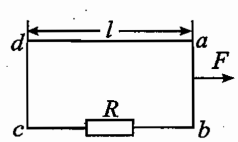


图 10－8

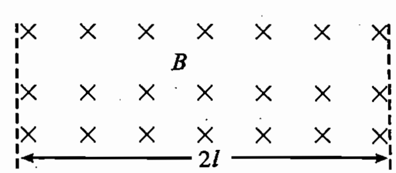


图 10－9

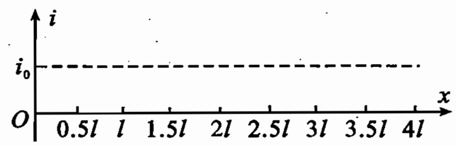


图 10－10

【巧解】 x 从 $O\to l$ 时，ab 边切割磁感线，磁场力与 F 平衡，线框匀速运动，$i=i_0$；x 从 $l\to 2l$ 时，线框内磁通量不变，$i=0$，线框在 F 作用下做匀加速运动，x 刚大于 $2l$ 时，cd 边将以比原先 ab 边更大的速度切割磁感线，从而在线框中形成大于 i_0 的电流，这时，磁场力大于恒定的外力 F，故合外力为阻力，物体开始做减速运动，速度的减小将导致 i 减小、磁场力减小、合外力及加速度的减小，所以速度将减小得越来越慢，进而造成电流减小得越来越慢，在 x 从 $2l\to 3l$ 时，图线应是向下的凹线，且 $x=3l$ 时，$i>i_0$，如图 10－11 所示.

【答案】 电流 i 的大小随 ab 边的位置坐标 x 的变化曲线如图 10－11 所示.

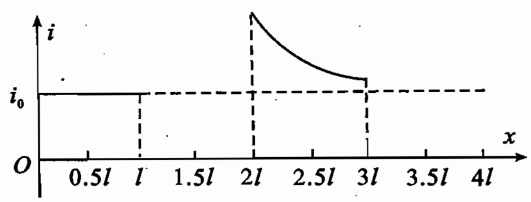


图 10－11

巧练1 如图 10－12 所示，一轻弹簧的两端与质量分别为 m_1 和 m_2 的两物块 A、B 相连接，并静止在光滑的水平面上. 现使 A 瞬时获得水平向右的速度 3m/s，以此刻为计时起点，两物块的速度随时间变化的规律如图 10－13 所示，从图象信息可得(　　)

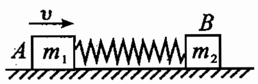


图 10－12

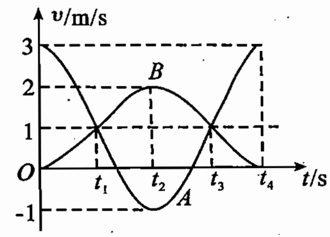


图 10－13

A. 在 t_1、t_3 时刻两物块达到共同速度 1m/s，且弹簧都是处于压缩状态

B. 从 t_3 到 t_4 时刻弹簧由压缩状态恢复到原长

C. 两物体的质量之比为 $m_1:m_2=1:2$

D. 在 t_2 时刻 A 与 B 的动能之比为 $E_{k1}:E_{k2}=8:1$

巧练2 将一个动力传感器连接到计算机上，我们就可以测量快速变化的力. 如图 10－14 所示是用这种方法测得的某小滑块在半球形碗内在竖直平面内来回滑动时，对碗的压力随时间变化的曲线. 由此曲线提供的信息做出下列几种判断，其中正确的是(　　)

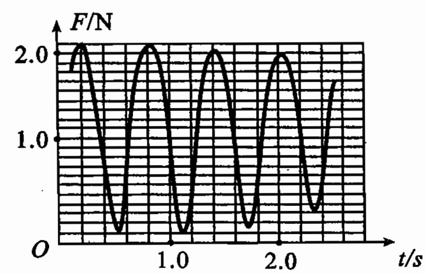


图 10－14

A. 滑块在碗中滑动的周期是 0.6s

B. 在 t＝0.8s 时刻，滑块的速度为零

C. 从 t＝0.5s 到 t＝0.8s 的过程中，滑块的重力势能减小

D. 滑块滑动过程中机械能守恒

十一、补偿法(又称割补法)

在解答流体及链条运动，或有关“缺口”的题目时，如果巧妙运用补偿法，可使解答过程简捷、直观、明了，能收到事半功倍的效果.

例1 如图 11－1 所示，粗细均匀的 U 形管内装有同种液体，开始时两边液面高度差为 h，管中液柱总长为 $4h$，后来让液体自由运动，当两边液面高度相等时，整个液柱运动的速度 v 为多大？(U 形管是固定的，不计摩擦)

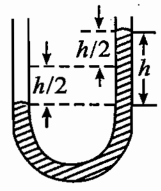


图 11－1

【巧解】 这是一个流体问题，可用补偿法来求解. 初状态两边液面高度差为 h，末状态两边液面等高，相当于将右管上面高为 $h/2$ 的液体割补到左管原液面上高为 $h/2$ 的位置.

设高为 $h/2$ 的液柱对应的质量为 m，则液柱的总质量为 8m. 从初状态到末状态，被割补的高为 $h/2$ 的液柱的重力势能减少量，转化为全部液柱的动能. 故有

$$mg\cdot\frac{h}{2}=\frac{1}{2}\cdot 8mv^2$$

解得 $v=\dfrac{\sqrt{2gh}}{4}$

【答案】 $v=\dfrac{\sqrt{2gh}}{4}$

例2 如图 11－2 所示，全长为 L 的均匀链条，对称地挂在

一个光滑轻质小定滑轮上，若轻轻地拉动链条，使它从静止开始下落，则链条刚脱离滑轮瞬间，其速度为多大？

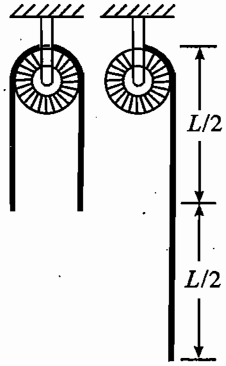


图 11－2

【巧解】 这是一个链条运动问题，可用补偿法来求解．如图所示，将初末状态图进行对比，相当于将左边的长为 $L/2$ 的链条割补到右下端．

设整个链条的质量为 m，被割补的高为 $L/2$ 的链条的重力势能减少量，转化为全部链条的动能．故有

$$\left(\frac{1}{2}m\right)g\left(\frac{L}{2}\right)=\frac{1}{2}mv^2$$

解得 $v=\frac{\sqrt{2gL}}{2}$

【答案】 $v=\frac{\sqrt{2gL}}{2}$

例 3 如图 11－3 所示，有一个密度均匀的大球体，其质量为 m_0，半径为 R，球心为 O，在距 O 点 $2R$ 远处另有一质量为 m 的质点，此时大球对质点 m 的万有引力为 F_1，当从大球体中挖去一半径为 $R/2$ 的小球体（阴影部分）后，剩下的部分对质点 m 的万有引力为 F_2，求两力的比值 $F_1:F_2$

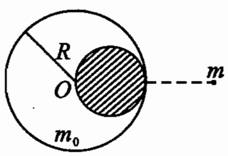


图 11－3

【巧解】 大球中挖去一小球后，变成不规则形状，直接求解 F_2 很困难，我们可以用补偿法来分析：把补挖去的小球补回来，设小球的质量为 m_1，小球 m_1 对质点 m 的万有引力为 F_0，则应有 $F_1=F_2+F_0$，F_0 可求解，这样便可求解 F_2，进而可求比值．

根据万有引力定律可得：$F_1=G\frac{m_0m}{(2R)^2}=\frac{1}{4}G\frac{m_0m}{R^2}$

小球的质量：$m_1=\rho\cdot\frac{4}{3}\pi\left(\frac{R}{2}\right)^3=\frac{1}{8}\cdot\left(\rho\frac{4}{3}\pi R^3\right)=\frac{1}{8}m_0$

补回小球 m_1 对质点 m 的万有引力：$F_0=G\frac{(1/8)m_0m}{[(3/2)R]^2}=\frac{1}{18}G\frac{m_0m}{R^2}$

剩下部分对质点 m 的万有引力：$F_2=F_1-F_0=\frac{7Gm_0m}{36R^2}$

则 $F_1:F_2=9:7$

【答案】 $F_1:F_2=9:7$

巧练 一半径为 R 的绝缘球壳上均匀地带有电荷量为 $+Q$ 的电荷，另一电荷量是 $+q$ 的点电荷放在球心 O 上，由于对称性，点电荷受力为零，现将球壳上挖去半径为 $r(r\ll R)$ 的一个小圆孔，则此时球心 O 的点电荷受力的大小为________；方向________．（已知静电力恒量为 k）

更多资料干货 关注微信公众号 学习第一线 赠送5000G学习大礼包

十二、微元法

“微元法”通俗地说就是把研究对象分为无限多个无限小的部分，取出有代表性的极小的一部分进行分析处理，再从局部到全体综合起来加以考虑的科学思维方法．一切宏观的物体、物理现象和物理过程都可以视为由微小的单元（微元）组成．化宏观为微元就是从事物的微元入手分析，达到解决事物整体问题的方法．微元法不仅可以用于实际物体也可以用于过程、状态、轨迹、线段等．微元法中大量的运用近似，在分析过程中化曲为直、化变为恒，将复杂问题转化为简单问题，使问题的解决变得非常简便．高中物理中的瞬时速度、瞬时加速度、感应电动势等等，都是用这种方法定义的，还有单摆的周期公式的推导，也用到了这种方法．从数学上讲，是一种微分的思想方法，但在物理学习中，用“微元法”来解有些问题，简捷明了是一种普适的好办法．

例 1 如图 12－1 所示，以不变的速率 v 通过绳拉河中的小船，当绳与水平方向成 θ 角时，求小船的瞬时速度．

【巧解】 如图 12－2 所示，当绳与水平方向成 θ 角时，小船处在 A 点．现经一段很短的时间 $\Delta t(\Delta t\to 0)$，小船被绳由 A 拉至 B．期间绳的长度变化 $\Delta S=S-S'$，则 $v=\frac{\Delta s}{\Delta t}$．而在这段时间内，由于 AO 与 BO 间的夹角很小，故小船的位移可作下列近似计算，$\Delta s_{船}\approx\frac{\Delta s}{\cos\theta}$．由于在极短的时间内，船的运动是匀速直线运动，所以船在 A 处的瞬时速度无限接近 Δt 内的平均速度．故小船在 A 处的瞬时速度为：$v_{船}=\frac{\Delta s}{\Delta t\cos\theta}=\frac{v}{\cos\theta}$

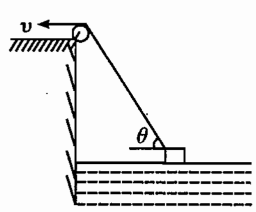


图 12－1

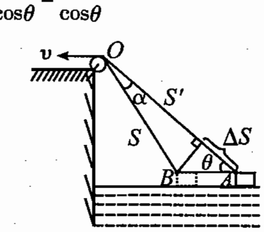


图 12－2

【答案】 $v_{船}=\frac{v}{\cos\theta}$

例 2 如图 12－3 所示，均匀带电圆环的带电量为 Q，半径为 R，圆心为 O，P 为垂直于圆环平面的对称轴上的一点，$OP=L$，试求 P 点的场强．

【巧解】 设想将圆环等分为 n 个小段，当 n 相当大时，每小

段便可以看作是点电荷，其带电量为 $q=Q/n$. 由点电荷场强公式，可得每一小段点电荷在 P 点的场强为 $E=\frac{kq}{r^2}=\frac{kQ}{n(R^2+L^2)}$

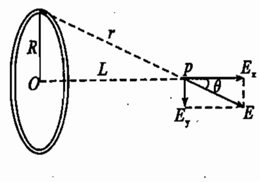


图 12－3

由对称性知，各小段带电环在 p 处场强 E，沿垂直 OP 轴方向分量 E_y 相互抵消，而 E 沿 OP 轴方向分量 E_x 之和，即是带电圆环在 P 处的场强 E_P，所以 $E_P=nE\cos\theta=\frac{kQ\cos\theta}{R^2+L^2}=\frac{kQL}{(R^2+L^2)^{3/2}}$

【答案】 $E_P=\frac{kQL}{(R^2+L^2)^{3/2}}$

例 3　三个物体 A、B、C，用绳连接挂在两个定滑轮上，A、B 质量相等且整个装置左右对称，设某一瞬间 A、B 的下降速度为 v_A 和 v_B($v_A=v_B=v'$)，在这一瞬间绳 OD、OE 间的夹角为 2α，求此时刻物体 C 的上升速度.

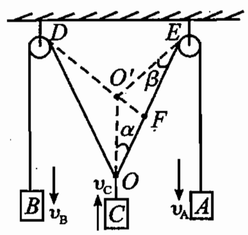


图 12－4

【巧解】 如图 12－4 所示，实线代表某一时刻线绳与物体所在的位置，虚线代表经极短时间后绳物体的位置. OO' 是物体 C 在极短时间内的位移，在 OE 上截取 $EF=O'E$，OF 就是物体 A 在极短时间内的位移，故有 $v=\frac{OF}{\Delta t}$. 因时间极短，故 $\beta\to 0$，可以认为 $O'F$ 垂直 OE，这样 $OO'=\frac{OF}{\cos\alpha}$，又因为在极短的时间内物体 C 可以是匀速直线运动，即：$v_c=\frac{OO'}{\Delta t}=\frac{OF}{\Delta t\cos\alpha}=\frac{v}{\cos\alpha}$

更多资料干货 关注微信公众号 学习第一线 赠送5000G学习大礼包

【答案】 $v_c=\frac{v}{\cos\alpha}$

例 4　一质量均匀分布的细圆环，半径为 R，质量为 m，设该环均匀地带正电，总带电量为 Q，现将此环平放在绝缘的光滑水平桌面上，匀强磁场的磁感强度为 B，方向竖直向下. 当此环绕通过其中心的竖直轴以 ω 的角速度顺时针方向匀速旋转时，环中的张力等于多少？（电荷间的作用力忽略不计）

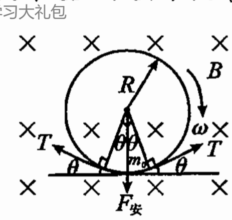


图 12－5

【巧解】 如图 12－5 所示，取环上微小的一段圆弧，质量为 m_0，设其张角为 2θ，由于环旋转，那么电荷随环运动形成电流，小圆弧因而受到磁场对它的安培力 $F_安$，方向沿半径向外. 又小圆弧做匀速圆周运动，必须有向心力. 所以环中必定存在张力 T，小圆弧两端所受的两个张力 T 在沿半径方向的分力和安培力的合力，提供了小圆弧运动的向心力. 得到：

$$2T\sin\theta-F_安=m_0\omega^2R \quad ①$$

$$F_安=BIL_0=B\frac{Q}{2\pi/\omega}\cdot 2\theta R=\frac{BQR\theta\omega}{\pi} \quad ②$$

$$m_0=\frac{m}{2\pi R}2\theta R=\frac{\theta m}{\pi} \quad ③$$

由以上三式，并且当 θ 很小时，$\sin\theta\approx\theta$ 求得：$T=\frac{m\omega^2R+Q\omega BR}{2\pi}$

【答案】 $T=\frac{m\omega^2R+Q\omega BR}{2\pi}$

巧练 1　如图 12－6 所示，一轻质细杆长为 L，一端可绕固定轴 O 转动，另一端系一小球 A，一物块高为 h 卡在水平面与细杆之间，此时 OA 杆与水平面成 θ 角，物块向右的速度为 v_B，求 A 球此时的速度大小 v_A.

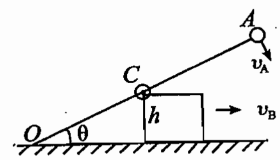


图 12－6

巧练 2　如图 12－7 所示，直棒 AB 两端分别靠在竖直墙和水平地面上，接触处均光滑，当直棒滑到与水平面成 θ 角时，A 点向下移动时的速度为 v，则此时 B 点的移动速度为多少？

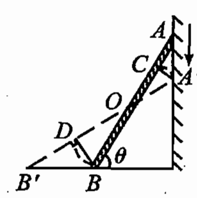


图 12－7

十三、对称法

物理学中存在大量的对称现象，如光路、电路对称、电场、磁场的对称、运动的对称等等. 根据对称性分析和处理问题的方法我们称之为“对称法”. 对称法是研究物理问题的常用方法，其关键是寻找对称性并使之显示出来，再利用对称规律求解.

例 1　如图 1 所示，水平固定的光滑金属板带负电，其中心的正上方有一固定的带正电的点电荷 $+Q$，另一个表面绝缘的带正电滑块（可视为质点且不影响原电场）以初速度 v_0 从左向右

在金属板上滑动，在它通过金属板的过程中，下列说法中正确的是（　　）

A. 滑块先做加速运动后做减速运动

B. 滑块先做减速运动后做加速运动

C. 滑块做匀速直线运动

D. 滑块做匀变速直线运动

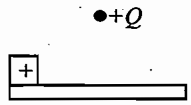


图 1

【巧解】 作出点电荷 $+Q$ 关于带电平行金属板的对称点 A，如图 2 所示，再作出点电荷 $+Q$ 到带电金属板的电场线，好像点电荷 $+Q$ 关于带电金属板对称的点 A 处有一负电荷 $-Q$ 一样，$+Q$ 和 $-Q$ 之间的电场线垂直于金属板向下，即和滑块速度 v_0 的方向垂直，电场力总不做功，所以它不会改滑块速度的大小，故应选 C

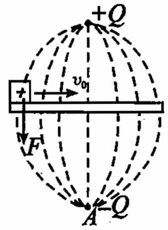


图 2

例 2 在离地面高为 19.6m 离竖直墙 1m 处的一点，以初速度为 5m/s 沿水平方向投出一弹性小球，球和墙的碰撞后落到地面上，求小球落地点和墙的距离 S.

【巧解】 设小球和墙壁碰撞前的速度为 v，因为是弹性碰撞，所以在水平方向上以原速率弹回，即 $v_\perp = v'_\perp$；因墙壁光滑，所以在竖直方向上速率不变，$v_{/\!/} = v'_{/\!/}$，由此可知小球碰撞前后的速度 v、v' 关于墙壁对称，碰撞后小球的运动轨迹和无墙壁时小球继续前进的轨迹关于墙壁对称，如图 3 所示，因此可把墙壁比作平面镜，把小球的运动转换为平抛运动处理，由 $h = \frac{1}{2}gt^2$ ①

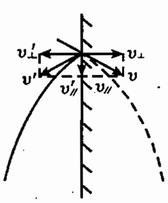


图 3

更多资料干货 关注微信公众号 学习第一线 赠送5000G学习大礼包

$S' = v_0 t$　　②，由①②可得：$s' = 10$m

则小球落地点和墙的距离 $S = 9$m

例 3 （全国高考题）两个共轴的圆筒形金属电极，外电极接地，其上均匀分布着平行于轴线的四条狭缝 a、b、c、d，外筒的外径为 r_0，在圆筒之外的足够大区域中有平行于轴线方向的均匀磁场，磁感应强度的大小为 B. 在两极间加上电压，使两圆筒之间的区域内有沿半径向外的电场. 如图 4 所示，一质量为 m、带电量为 $+q$ 的粒子，从紧靠内筒且正对狭缝 a 的 S 点出发，初速度为零，如果此粒子经过一段时间的运动之后恰好又回到出发点 S，则两电极之间的电压 U 应是多少？

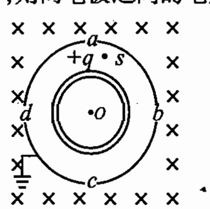


图 4

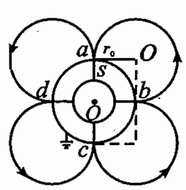


图 5

【巧解】 如图 5 所示，带电粒子从 s 出发，在两筒之间的电场力作用下加速，沿径向穿出 a 而进入磁场区，在洛伦兹力作用下做匀速圆周运动. 粒子再回到 s 条件是能沿径向穿过狭缝 d. 只要穿过了 d，粒子就会在电场力的作用下先减速，再反向加速，经 d 重新进入磁场区. 然后，粒子将以同样方式经过 c、b，再经过 a 回到 s 点，设粒子射入磁场区的速度为 v，根据能量守恒，则有 $mv^2/2 = qU$，设粒子在洛伦兹力作用下做匀速圆周运动的半径为 R，在磁场中，洛伦兹力提供向心力：$m\frac{v^2}{R} = qBv$

由前面分析可知，要回到 S 点，粒子从 a 到 d 必经过 3/4 圆周. 所以半径 R 必定等于筒的外半径 r_0，即 $R = r_0$. 由以上各式解得 $U = q r_0^2 B^2 / 2m$

巧练 1 （2009 · 东城模拟）如图 6 所示，在矩形 $ABCD$ 的 AB、CD 边的中点 M、N 各放一点电荷，它们分别带等量的正、负电荷；E、F 是 AD 边和 BC 边中点，P、Q 两点在 MN 的连线上，$MP = QN$，对于 E、F、P、Q 四点，其中电场强度相同，电势相等的两点是（　　）

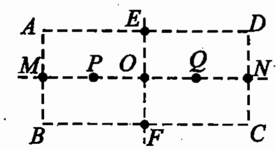


图 6

A. E 和 F　　B. P 和 Q　　C. A 和 B　　D. C 和 D

巧练 2 如图 7 所示，将一条轻而柔软的细绳一端拴在天花板上的 A 点，另一端拴在竖直墙上的 B 点，A 和 B 到 O 点的距离相等，绳的长度是 OA 的两倍，一质量可忽略的动滑轮 k，滑轮下悬挂质量为 m 的重物，设摩擦力可忽略，现将动滑轮和重物一起挂在细绳上，在达到平衡时，绳所受的拉力是多大？

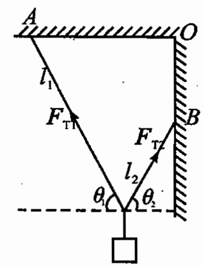


图 7

巧练 3 电量为 $+q$ 的点电荷，与足够大金属板的距离为 r，且金属板接地如图 8 所示，试计算：

(1) 感应电荷的电量 Q；

(2) 点电荷与感应电荷之间的静电力.

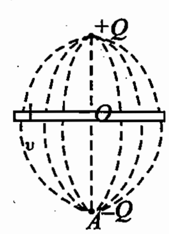


图 8

十四、假设法

假设法，又叫虚拟法，是一种科学的思维方法. 这种方法的要领是以客观事实（如题设的物理现象及其变化）为基础，对物理量、物理条件、物理状态或物理过程等进行合理的假设，然后根据物理概念和规律进行分析、推理和计算，从而使问题迎刃而解. 在物理解题中，假设法有较广泛的应用，有助于我们寻求解题途径，也有利于我们简捷求得正确答案.

假设法常见的几种情形是：虚设条件、虚设过程、虚设状态、虚设结论等.

一、虚设条件

例1 如图 14－1 所示，匀强磁场 B 垂直纸面向里，导线 abc 是半径为 R 的半圆周. 当导线以速度 v 垂直磁场向右运动时，求导线内产生感生电动势的大小.

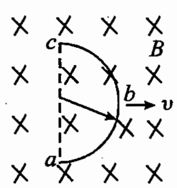


图 14－1

【巧解】 本题直接求解比较困难，但若虚设用一根导线将直径 ac 连接起来构成闭合回路问题就变得很简单. 对这个闭合回路来说，磁通量不变化，整个回路内感生电动势为零. 这表明直导线与半圆导线切割磁感线产生的电动势大小相等方向相反，所以可得：$\varepsilon_{圆} = \varepsilon_{直} = 2BRV$

更多资料下载 关注微信公众号 学习第一线 赠送5000G学习大礼包

二、虚设过程

例2 质量为 M 的木块被固定在光滑的水平面上，一颗质量为 m 的子弹以速度 v_0 水平飞来，穿透木块后的速度为 $v_0/2$. 现使该木块不固定，可以在光滑水平面上滑动，同样的子弹以初速度 v_0 飞来射向木块，如果 $M/m<3$，那么子弹将（　　）

A. 能够射穿木块

B. 不能穿过木块，留在木块中共同运动

C. 刚好穿透木块但留在木块边缘共同运动

D. 条件不足，无法判断

【巧解】 设木块放在光滑水平面上时子弹刚好能穿过木块，则由水平方向动量守恒得：$mv_0=(M+m)v$　　①

根据功能关系知木块固定时子弹穿过木块克服阻力做功为

$W=\frac{1}{2}m{v_0}^2-\frac{1}{2}m(\frac{v_0}{2})^2$　　②

因是同样的木块所以穿过它克服阻力做功应相同则：$W=\frac{1}{2}m{v_0}^2-\frac{1}{2}(M+m)v^2$　　③

解①②③得：$M/m=3$，可见，当 $M/m=3$ 时子弹刚好穿过木块；当 $M/m>3$ 时子弹能穿出木块；当 $M/m<3$ 时子弹不能穿出木块. 因此正确答案是（B）

三、虚设状态

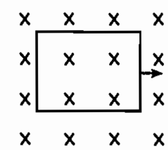
例3 如图 14－2 所示，要把闭合线圈向右匀速拉出，则（　　）

A. 线圈电阻 R 一定时，速度大时做功少；

B. 线圈电阻 R 一定时，速度小时做功少；

C. 线圈的速度一定时，电阻大的做功少；

D. 线圈的速度一定时，电阻小的做功少；


图 14－2

【巧解】 虚设线圈缓慢拉出，速度接近零，则闭合线圈中几乎没有电流，就无需克服磁场力做功，故速度小时做功少，所以（B）正确. 再虚设线圈的电阻无限大，则线圈内也几乎无电流，亦无需克服磁场力做功，故电阻大时做功少，所以（C）正确.

四、虚设结论

例4 木块 A、B 叠放在一起共同沿斜面下滑，A 与 B 间的接触面是粗糙的，如图 14－3 所示，试判断 A、B 间是否存在静摩擦力作用.

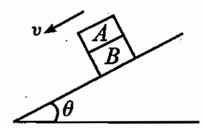


图 14－3

【巧解】 (1) 当 B 与斜面间无摩擦时，假设 A、B 间不存在静摩擦力，那么可以推算出 A、B 下滑的加速度为 $g\sin\theta$，它们之间无相对滑动趋势，因此可以判断 A 与 B 之间不存在静摩擦力.

(2) 当 B 与斜面有摩擦（滑动摩擦系数为 μ）时，假设 A 与 B 之间无静摩擦力，则 A 的加速度为 $a_A=g\sin\theta$，而 B 下滑的加速度为 $a_B=\frac{m_Bg\sin\theta-\mu(m_A+m_\theta)g\cos\theta}{m_B}=g\sin\theta-\mu g(\frac{m_A+m_B}{m_B})$ 即 $a_A>a_B$ 故 A、B 间有相对滑动趋势，因此可以判断 A、B 之间实际上存在静摩擦力，A 受到静摩擦力向后，B 受到的向前，此力的大小可以求出为 $f_{B静}=\mu m_Ag\cos\theta$.

巧练1 （全国高考题）如图 14－4 所示，电源电动势为 E，内阻为 r_0 当可变电阻的滑片 P 向 b 点移动时，两电压表的读数 U_1、U_2 的变化情况是（　　）

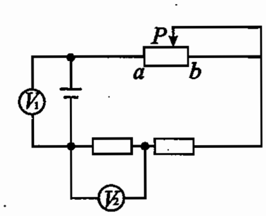


图 14－4

A. U_1 变大，U_2 变小

B. U_1 变大，U_2 变大

C. U_1 变小，U_2 变小

D. U_1 变小，U_2 变大

巧练2 物体A在倾角为θ的斜面上运动，如图14－5所示. 若初速度为v_0，它与斜面间的摩擦系数为μ，在相同的情况下，A上滑和下滑的加速度大小之比为(　　)

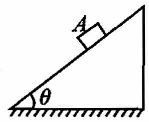


图14－5

A. $\frac{\sin\theta-\mu\cos\theta}{\mu\cos\theta-\sin\theta}$　　B. $\frac{\sin\theta+\mu\cos\theta}{\sin\theta-\mu\cos\theta}$

C. $\mu+tg\theta$　　D. $\frac{\mu\cos\theta}{\sin\theta-\mu\cos\theta}$

巧练3 如图14－6所示，三角形木块放在倾角为θ的斜面上，若木块与斜面间动摩擦因数$\mu>\tan\theta$，则无论作用在木块上竖直向下的外力F多大，木块都不会滑动，这种现象叫做"自锁"，试证明之.

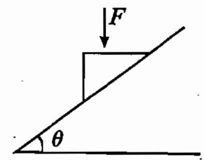


图14－6

巧练4 一纯冰块漂浮在盐水面上，已知$\rho_{盐水}>\rho_{水}>\rho_{冰}$，当冰块全部熔化成水后，液面的变化情况是(　　)

A. 不变　B. 上升　C. 下降　D. 不能判断

十五、临界条件法

在中学物理中经常会出现某些物理量的变化只能在一定的范围内发生，或从一种物理过程转变为另一种物理过程中，存在分界线的现象，这类问题称为临界问题. 这类问题关键是认真分析物理过程，抓住临界状态，确定其临界条件，建立临界方程.

例1 如图15－1所示，小球质量为m，用两根轻绳BO、CO系好后，将绳固定在竖直墙上，在小球上加一个与水平方向夹角60°的力F，使小球平衡时，两绳均伸直且夹角60°，则力F大小应满足什么条件？

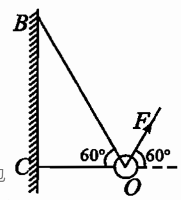


图15－1

更多资料下载 关注微信公众号 学习第一线 赠送5000G学习大礼包

【巧解】 本题为静力学类问题，并有临界条件需分析：

当F力太小时，CO线会松弛，当$F_{CO}=0$时物体受体力如图15－2所示，有$F_{min}\sin60°\times2=mg$，所以$F_{min}=\frac{\sqrt{3}}{3}mg$

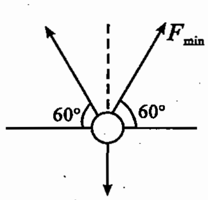


图15－2

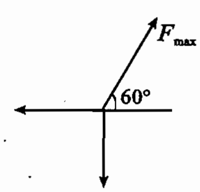


图15－3

当F力太大时，OB线会松弛，当$F_{OB}=0$时受力如图15－3所示

所以$F_{max}=\frac{mg}{\cos30°}=\frac{2\sqrt{3}}{3}mg$

综上所述F应满足的条件为：$\frac{\sqrt{3}}{3}mg\leq F\leq\frac{2\sqrt{3}}{3}mg$

例2 (上海高考题)组成星球的物质是靠引力吸引在一起的，这样的星球有一个最大的自转速率，若超过了此速率，星球的万有引力将不足以维持其赤道附近的物体做圆周运动. 由此能得到半径为R、密度为ρ、质量为M且均匀分布的星球的最小自转周期T，下列表达式中正确的是(　　)

A. $T=2\pi\sqrt{\frac{R^3}{GM}}$　　B. $T=2\pi\sqrt{\frac{3R^3}{GM}}$

C. $T=\sqrt{\frac{\pi}{G\rho}}$　　D. $T=\sqrt{\frac{3\pi}{G\rho}}$

【巧解】 设在此星球的赤道上有一质量为m的物体，它随星球自转时恰好不飞离星球. 由万有引力定律和牛顿定律列出方程：$\frac{GMm}{R^2}=m(\frac{2\pi}{T})^2R$，解得$T=2\pi\sqrt{\frac{R^3}{GM}}$①又因为星球的质量为$M=\rho\frac{4\pi R^3}{3}$②，将②代入①可得：$T=\sqrt{\frac{3\pi}{G\rho}}$故选A、D

例3 一个光滑的圆锥体固定在水平桌面上，其轴线沿竖直方向，母线与轴线间的夹角为$\theta=30°$，如图15－4所示. 一条长为L的细绳，一端拴着一个质量为m的物体. 物体沿锥面在水平面内绕轴线以速度v做匀速圆周运动，求：

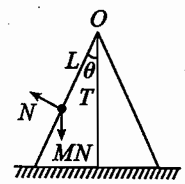


图15－4

(1)当$v=\sqrt{\frac{1}{6}gL}$时绳对物体的拉力；

(2)当$v=\sqrt{\frac{3}{2}gL}$时绳对物体的拉力.

【巧解】 本题涉及临界条件是：物体对锥面压力为零时，物体的速度值. 如图15－4所示，物体受重力mg、锥面的支持力N、绳的拉力T三个力作用，将三力沿水平方向和竖直方向分解，由牛顿第二定律得：$T\sin\theta-N\cos\theta=m\frac{v^2}{L\sin\theta}$① $T\cos\theta-N\sin\theta=mg$②

由①②两式得：$N=mg\sin\theta-m\frac{v^2\cos\theta}{L\sin\theta}$，可见，$\theta$一定，$v$越大，$N$越小，当$v$增大到某值$v_0$时，$N=0$时，即$v_0=\sqrt{\frac{\sqrt{3}}{6}gL}$因$N$为支持力，不能为负值，故当$v>v_0$时物体离开锥面，物体飘起绳与轴线夹角增大到某值$\alpha$.

(1)当 $v=\sqrt{\frac{1}{6}gL}$ 时 $v<v_0$,物体压在锥面上,N 不为零,由①②两式消 N 得 $T=mg\cos\theta+m\frac{v^2}{L}$ 代入数字得 $T=1.03mg$

(2)当 $v=\sqrt{\frac{3}{2}gL}$ 时,$v>v_0$ 物体飞离锥面,此时物体只受重力 mg 和拉力 T 作用,设绳与轴线的夹角为 α:$T\sin\alpha=\frac{mv^2}{L\sin\alpha}$③ $T\cos\alpha=mg$④　将 v 代入③④两式消去 α 可得 $2T^2-3mgT-2m^2g^2=0$　解取合理值 $T=2mg$.

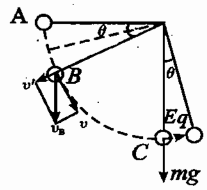


图 15－5

例 4　如图 15－5 所示,用长为 L 的细线悬挂质量为 m,带正电的小球,电量为 q,且小球静止时,向右偏离竖直方向 θ 角,若将小球向左拉至水平位置 A 无初速释放,试计算:

(1)匀强电场的场强;

(2)小球到达最低点时悬线的拉力.

【巧解】　(1)由平衡条件:$\tan\theta=\frac{Eq}{mg}$,所以电场强度 $E=\frac{mg\tan\theta}{q}$(2)在释放瞬间悬线拉力为零,小球在重力和电场力的合力作用下,从静止开始以加速度 $a=\frac{g}{\cos\theta}$ 作匀加速直线运动,当小球运动到 B 点时细绳被拉直.此时速度大小为 $v=\sqrt{2as}=\sqrt{2L\sin\theta\frac{2g}{\cos\theta}}=\sqrt{4gLtg\theta}$.在 B 点由于细绳的拉力,法向分速度为零,B 点为前后过程的跃变点及联系点,这里的运动状态发生了转变.

更多资料干货 关注微信公众号 学习第一线 赠送5000G学习大礼包

此时小球以切向分速度 $v=v_B\cos\theta$ 作变速圆周运动到最低点 C,由动能定理:$mgL(1-\sin2\theta)+qEL\cos2\theta=\frac{1}{2}m\,v_c^{\,2}-\frac{1}{2}mv^2$,小球在最低点的速度为:$v_C=\sqrt{2gL(1+\sin2\theta-tg\theta)}$,由牛顿第二定律:$T_c-mg=m\frac{v_c^2}{L}$,所以在最低点细绳的拉力为:$T_c=mg[3+2(\sin2\theta-tg\theta)]$,显然,找出临界点及其隐含条件是解答这类问题的关键.

巧练 1　1999 年,中国首次北极科学考察队乘坐我国自行研制的"雪龙"号科学考察船对北极地区海域进行了全方位的卓有成效的科学考察.这次考察获得了圆满的成功,并取得一大批极为珍贵的资料."雪龙"号科学考察船不仅采用特殊的材料,而且船体的结构也应满足一定的条件,以对付北极地区的冰块与冰层,它是靠本身的重力压碎周围的冰块,同时又将碎冰块挤向船底.如果碎冰块仍挤在冰层与船体之间,船体由于受巨大的侧压力而可能解体.为此,如图 15－6 所示,船体与铅垂面之间必须有一倾斜角 θ.设船体与冰块间的动摩擦因数为 μ,试问使压碎的冰块能被挤向船底,θ 角应满足什么条件?

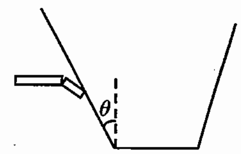


图 15－6

巧练 2　(2003·全国卷)中子星是恒星演化过程中的一种可能结果,它的密度很大.现有一中子星,观测到它的自转周期为 $T=1/30$s.问该中子星的最小密度应是多少才能维持该星体的稳定,不致因自转而瓦解.计算时星体可视为均匀球体.(引力常数 $G=6.67\times10^{-11}m^3/kg\cdot s^2$)

巧练 3　有一高为 h,质量为 M 的障碍物,各表面均光滑,并放置于光滑水平面上,一个质量为 m 的滑块以速度 v_0 沿水平面冲向障碍物,如图 15－7 所示,如果 m 刚能越过障碍,求这时滑块所需的水平速度大小.

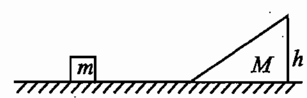


图 15－7

十六、动态分析法

所谓动态平衡问题是指通过控制某些物理量,使物体的状态发生缓慢的变化,而在这个过程中物体又始终处于一系列的平衡状态.分析动态平衡问题的方法通常有两种:一种是解析法,另一种是图解法.

动态分析法是:对研究对象在状态变化过程中的若干状态进行受力分析,依据某一参量的变化(一般为某一角),在同一图中作出物体在若干状态下的平衡力图(力的平行四边形或力的三角形),再由动态的力四边形或三角形的边的长度变化及角度变化确定某些力的大小及方向的变化情况的一种方法.

运用图解法时,必须注意如下两点:①正确判断某一力的方

向如何变化. ②注意某一力方向变化的空间范围.

例1 如图1所示,保持 θ 不变,将 B 点向上移,则 BO 绳的拉力将(　　)

A. 逐渐减小

B. 逐渐增大

C. 先减小后增大

D. 先增大后减小

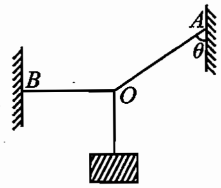


图1

【巧解】 对结点 O 受力分析如图2甲所示,由于结点 O 始终处于平衡状态,合力为零,故 F_1、F_B、F_A 经过平移可构成一个矢量三角形,其中 $F_1=mg$,其大小和方向始终不变;F_A 方向也不变,大小可变;F_B 的大小、方向都在变. 在绳向上偏移的过程中,可能作出一系列矢量三角形如图乙所示,显而易见在 F_B 变化到与 F_A 垂直前,F_B 是逐渐变小的,然后 F_B 又逐渐变大. 同时看出 F_A 是逐渐变小的,故C正确,应用此方法可解决许多相关动态平衡问题.

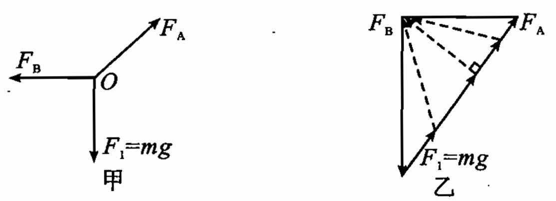


图2

例2 如图4所示,把球夹在竖直墙 AC 和木板 BC 之间,不计摩擦,球对墙的压力为 F_{N1},球对板的压力为 F_{N2},在将板 BC 逐渐放至水平的过程中,下列说法中,正确的是(　　)

A. F_{N1} 和 F_{N2} 都增大　　B. F_{N1} 和 F_{N2} 都减小

C. F_{N1} 增大,F_{N2} 减小　　D. F_{N1} 减小,F_{N2} 增大

【巧解】 虽然题目中的 F_{N1} 和 F_{N2} 涉及的是墙和木板的受力情况,但研究对象还只能取球. 由于球处于一个动态平衡过程,F_{N1} 和 F_{N2} 都是变力,画受力图可以先画开始时刻的,然后再根据各力的关系定性或定量地讨论某力的变化规律.

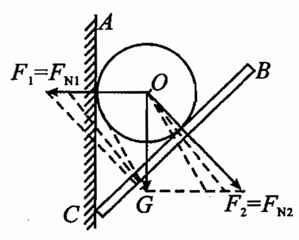


图16-4

球所受的重力 G 产生的效果有两个:对墙的压力 F_{N1} 和对板的压力 F_{N2}. 根据 G 产生的效果将其分解. 如图4所示,则 $F_1=F_{N1}$,$F_2=F_{N2}$. 从图中不难看出,当板 BC 逐渐被放平的过程中,F_{N1} 的方向保持不变而大小逐渐减小,F_{N2} 与 G 的夹角逐渐变小,其大小也逐渐减小. 因此本题的正确答案为B.

说明: 利用图解法分析动态平衡问题,具有直观、简便等优点,但在使用中有两点需要注意:

1. 本方法所适用的基本上都是"三力平衡"问题,且物体所受的三个力中,有一个恒力(如 G),还有一个是方向不变仅大小变的力(如 F_{N1}),另一个则是大小和方向都变的力(如 F_{N2}). 否则,用图解法分析不一定简便.

2. 作图时要规范,也可仅讨论其中的一个三角形,要特别注意方向变化的那个力,要切实搞清其方向变化的范围.

巧练1 如图16-5所示,AC 为一固定斜面,BC 为一块可绕 O 点转动的挡板. 一光滑球置于斜面与挡板之间,当 β 角由90°逐渐减小到0°的过程中(　　)

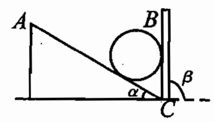


图5

A. 球对斜面的压力逐渐减小,对挡板的压力也逐渐减小.

B. 球对斜面的压力逐渐减小,对挡板的压力逐渐增大.

C. 球对斜面的压力逐渐减小,对挡板的压力先逐渐减小再逐渐增大.

D. 球对斜面的压力先逐渐增大后再逐渐减小,对挡板的压力逐渐增大.

巧练2 细绳拴一个质量为m的小球,小球用固定在墙上的水平弹簧支撑,小球与弹簧不粘连,平衡时细绳与竖直方向的夹角为53°,如图16-6所示. 以下说法正确的是(　　)(已知 $\cos53°=0.6$,$\sin53°=0.8$)

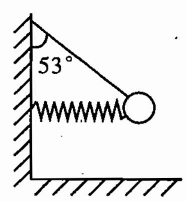


图16-6

A. 小球静止时弹簧的弹力大小为 $\frac{3}{5}mg$

B. 小球静止时细绳的拉力大小为 $\frac{3}{5}mg$

C. 细线烧断瞬间小球的加速度立即为 g

D. 细线烧断瞬间小球的加速度立即为 $\frac{5}{3}g$

十七、利用配方求极值法

对于二次函数 $y=ax^2+bx+c$,函数解析式经配方可变为 $y=(x-A)^2+$常数;

(1)当 $x=A$ 时,常数为极小值,或者函数解析式经配方可变为 $y=-(x-A)^2+$常数;

(2)当 $x=A$ 时,常数为极大值.

例1 如图17-1所示的电路中. 电源的电动势 $\varepsilon=12$ 伏,

内阻 r=0.5 欧,外电阻 $R_1=2$ 欧,$R_2=3$ 欧,滑动变阻器 $R_3=5$ 欧.求滑动变阻器的滑动头 P 滑到什么位置,电路中的伏特计的示数有最大值?最大值是多少?

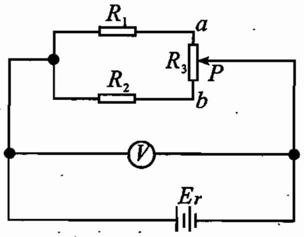


图 17－1

【巧解】 设 aP 间电阻为 x,外电路总电阻为 R,则:

$$R=\frac{(R_1+x)(R_2+R_3-x)}{R_1+R_2+R_3}$$

$$R=\frac{(2+x)(3+5-x)}{2+3+5}=\frac{(2+x))(8-x)}{10}$$

用配方法求解

考虑 $R=\frac{(2+x)(8-x)}{10}=\frac{-x^2+6x+16}{10}=\frac{-(x-3)^2+25}{10}$.

即 $x=3\Omega$ 时,$R_{max}=\frac{25}{10}=2.5\Omega$

$$I_{min}=\frac{\varepsilon}{R_{max}+r}=\frac{12}{2.5+0.5}=4(A)$$

$$U_{max}=\varepsilon-I_{min}r=12-4\times0.5=10(V)$$

即变阻器的滑动头 P 滑到距 a 为 $\frac{3}{5}ab$ 处时,伏特计有最大值,最大值为 10 伏.

例 2 如图 17－2 所示带电小球以速度 v_0 从 A 点竖直向上进入水平向右的匀强电场中,到 B 点时速度方向变为水平向右,大小仍然为 v_0,求小球从 A 运动到 B 的过程中,何时速度最小,速度的最小值为多少?

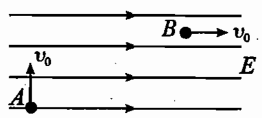


图 17－2

更多资料干货 关注微信公众号 学习第一线 赠送5000G学习大礼包

【巧解】 由于小球在竖直方向只受重力作用,故作竖直上抛运动,且在 B 点只有水平速度,竖直速度为 0,设从 A 到 B 所用总时间为 T,则 $v_0=gT$,小球在水平方向只受恒定的电场力作用,故作初速为零的匀加速运动,设水平加速度为 a,则 $v=aT$,也就是 $a=g$

设小球从 A 运动到 B 的过程中,在 t 时刻速度最小并为 v,

由运动的合成有 $v=\sqrt{(gt)^2+(v_0-gt)^2}=\sqrt{2g^2(t-\frac{v_0}{2g})^2+\frac{v_0{}^2}{2}}$

即当 $t=\frac{v_0}{2g}$ 时,速度最小为 $v=v_0\frac{\sqrt{2}}{2}$

例 3 在十字路口,汽车以 $0.5m/s^2$ 的加速度从停车线启动做加速运动,恰好有一辆自行车以 5m/s 的速度匀速驶过停车线与汽车同方向行驶.求:

(1)什么时候它们相距最远?最远距离是多少?

(2)在什么地方汽车追上自行车?追上时汽车的速度多大?

【巧解】 设它们相距距离为 $\triangle S$ 则

$\triangle S=S_{自}-S_{汽}=5t-\frac{1}{2}\times0.5t^2=-\frac{1}{4}(t-10)^2+25$　即当 $t=10s$ 时,它们相距最远,最远距离为 $25m$

(2)追上时 $\triangle S=0,5t-\frac{1}{2}\times0.5t^2=0,t_1=0,t_2=20s,t_1=0$ 表示开始两车从同一位置出发,$t_2=20s$ 表示经 $20s$ 汽车追上自行车,此时两车行驶的距离 $s=5\times20m=100m$

汽车的速度 $v_{汽}=0.5\times20m/s=10m/s$

例 4 从地面以初速度 v_1 竖直向上抛出一物体的同时,从其正上方高 H 处以初速度 $v_2(v_2<v_1)$ 平抛另一物体,如图 17－3 所示,求二物体间的最短距离?

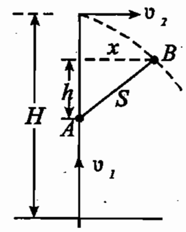


图 17－3

【巧解】 设竖直上抛的物体在时刻 t 到达 A 点,平抛物体到达 B 点.A 和 B 之间的距离为 s,A 和 B 之间的竖直距离为 h,A 和 B 之间的水平距离为 x.

$$h=H-\frac{1}{2}gt^2-(v_1t-\frac{1}{2}gt^2)=H-v_1t$$

$$x=v_2t$$

$$S=\sqrt{h^2+x^2}=\sqrt{(H-v_1t)^2+(v_2t)^2}$$

$$=\sqrt{(v_1^2+v_2^2)t^2-2Hv_1t+H^2}$$

$$S=\sqrt{(v_1^2+v_2^2)[t-\frac{Hv_1}{(v_1^2+v_2^2)}]^2+H^2-\frac{H^2v_1{}^2}{v_1^2+v_2^2}}$$

$$故\ S_{最小}=\sqrt{H^2-\frac{H^2v_1^2}{v_1^2+v_2^2}}=Hv_2\sqrt{\frac{1}{v_1^2+v_2^2}}$$

巧练 1 从底角为 θ 的斜面顶端,以初速度 v_0 水平抛出一小球,不计空气阻力,若斜面足够长,如图 17－4 所示,则小球抛出后,离开斜面的最大距离 H 为多少?

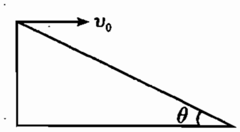


图 17－4

巧练 2 如图 17－5 所示,在竖直平面内固定着光滑的 $\frac{1}{4}$ 圆弧槽,它的末端水平,上端离地高 H,一个小球从上端无初速度滑下,若小球的水平射程为最大值,则圆弧槽的半径为(　　)

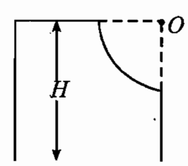


图 17－5

A. H　　B. $\frac{H}{2}$　　C. $\frac{H}{3}$　　D. $\frac{H}{4}$

巧练 3 如图 17－6 所示的电路中,当滑动变阻器 R 的滑片从 A 滑到 B 的过程中,灯泡 L 的亮度变化情况是(　　)

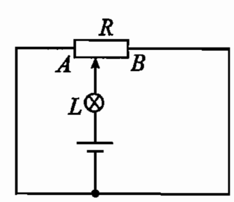


图 17－6

A. 变暗

B. 变亮

C. 先变暗,后变亮

D. 先变亮,后变暗

十八、等效电源法

等效电源法是处理复杂有源电路常用的一种方法. 当我们确定一个电动势为 ε、内电阻为 r 的复杂有源电路中某一个电阻 R 消耗的功率、两端的电压或通过的电流强度大小时,可用一个电动势为 ε'、内电阻为 r'的等效电源来替代除电阻 R 以外含有电源的其余部分的电路. 这样,原来复杂的有源电路便可简化为如图 18－1 所示的简单闭合电路,而电阻 R 很自然地成为接在这一等效电源两端(设这电源两端点为 A、B)间的外电阻.

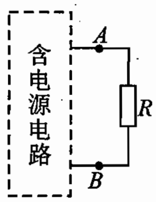


图 18－1

等效电源法应用的前提条件是等效电源的内电阻 r'必须是定值的.

一、恒定电源的等效

例 1 试分析用《伏安法测量电池的电动势和内阻》实验的实验误差.

【巧解】 如图 18－2 为测量电动势和内阻实验电路图. 其原理是根据闭合电路的欧姆定律:$\varepsilon_0 = U + Ir_0$ 实验中,由于电表的接入而产生了分流或分压作用,因此使得测量值与真实值之间存在一差值,为了能很快地得出实验误差的大小. 我们采用等效电源法. 实验中测出的电动势和内阻就是方框所包围的等效电源的电动势 ε'和内阻 r'. 然后再比较测量值 ε'、r'与真实值 ε_0、r_0 的数量关系便能得出实验误差的大小. 如图 18－2 所示,等效电源的电动势和内阻分别是:

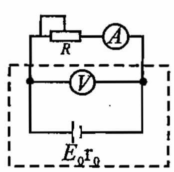


图 18－2

$\varepsilon' = \dfrac{R_v}{R_v + r_0}\varepsilon_0$ $r' = \dfrac{R_v}{R_v + r_0}r_0$ 则测量值与真实值之间的绝对误差分别是:$\Delta\varepsilon = \varepsilon' - \varepsilon_0 = -\dfrac{r_0}{R_v + r_0}\varepsilon_0$

$\Delta r = r' - r_0 = -\dfrac{r_0^2}{R_v + r_0}$ 这说明测量值都小于真实值.

评注 等效电源法是将虚线框内的电路看成一个等效电源,等效电源的电动势为 ε',内阻为 r',由这样一个等效电源向 R 供电. 可见等效电动势等于方框外的路端电压,内电阻等于方框内的总电阻.

二、交流电源 E、r 通过变压器给电阻 R 供电,相当于交流电源 E'、r'【$E' = n_2E/n_1$,$r' = (n_2/n_1)^2r$】不用变压器直接给电阻 R 供电

例 2 在图 18－3 所示的电路中,交流电源电动势为 E、内阻不计,理想变压器原、副线圈匝数比为 2:1,电路中接有四只完全相同的电灯(设电灯电阻不变),当 K 断开时,电灯 L_1、L_2、L_3 都正常发光. 若闭合 K,则:(　　)

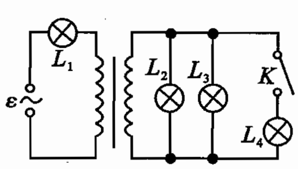


图 18－3

A. 四灯均正常发光

B. L_1 变亮,甚至烧毁

C. L_2、L_3 变亮,甚至烧毁

D. L_2、L_3 变暗,且 L_2、L_3、L_4 亮度相同

【巧解】 把 L_1 看作交流电源内电路的一部分,画出等效电源电路,如图 18－4 所示,等效电源的电动势为:

$E' = n_2E/n_1 = E/2$.

设电灯的电阻为 R,则 L_1'的电阻为:

$R' = (n_2/n_1)^2 \quad R = (1/2)^2R = R/4$.

在图 18－4 中,设总电流为 I,L_1'两端电压为 U_1,并联电路两端电压为 U_2,则:

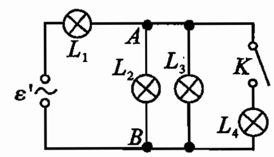


图 18－4

当 K 闭合时,$R_{AB}\downarrow$,$R_总(=R' + R_{AB})\downarrow$,$I = (E'/R_总)\uparrow$,$L_1$ 的功率 $P_1 = P'_1 = IR'\uparrow$. 即 L_1 变亮,故 B 正确. 此时,$U_2 = (E' - IR')\downarrow$,$L_2$ 的功率 $P_2 = U_2^2/R\downarrow$,即 L_2 变暗,而 L_2、L_3、L_4 功率相等,故 D 正确,因此正确答案为 B、D.

三、感应电动势的等效

例 3 (2004 · 北京春季)如图 18－5 所示,直角三角形导线框 abc 固定在匀强磁场中,ab 是一段长为 L、电阻为 R 的均匀导线,ac 和 bc 的电阻可不计,ac 长度为$\dfrac{L}{2}$. 磁场的磁感强度为 B,方向垂直于纸面向里. 现有一段长度为$\dfrac{L}{2}$、电阻为$\dfrac{R}{2}$的均匀导体杆 MN 架在导线框上,开始时紧靠 ac,然后沿 ac 方向以恒定速度 v 向 b 端滑动,滑动中始终与 ac 平行并与导线框保持良好接触. 当 MN 滑过的距离为$\dfrac{L}{3}$时,如图 18－6 所示导线 ac 中的电流是多大?方向如何?

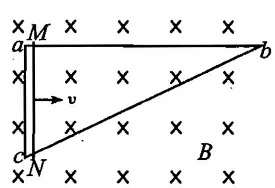


图 18－5

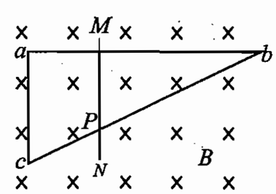


图 18－6

【巧解】 MN 滑过的距离为$\dfrac{L}{3}$时,它与 bc 的接触点为 P,则将 MP 等效为电源,如图 18－7 所示. 由几何关系可知 MP 长度为$\dfrac{L}{3}$,MP 中的感应电动势 $E = \dfrac{1}{3}BLv$

MP 段的电阻 $r = \frac{1}{3}R$

$MacP$ 和 MbP 两电路的并联电阻为

$$r_{并} = \frac{\frac{1}{3}\times\frac{2}{3}}{\frac{1}{3}+\frac{2}{3}}R = \frac{2}{9}R$$ 由欧姆定律，PM 中的电流 $I = \frac{E}{r + r_{并}}$，ac 中的电流 $I_{ac} = \frac{2}{3}I$，解得 $I_{ac} = \frac{2BLv}{5R}$

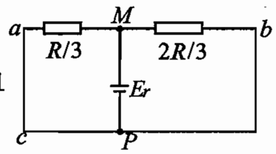


图 18－7

根据右手定则，MP 中的感应电流的方向由 P 流向 M，所以电流 I_{ac} 的方向由 a 流向 c.

巧练 1　如图 18－8 所示，Rx 与 R_1 串联，问 Rx 等于多少时 Rx 获得最大功率？最大功率为多少？若使 R_1 获得功率最大，则 Rx 的值为多少？最大功率是多少？

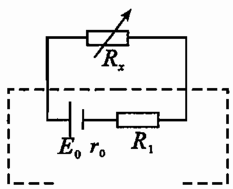


图 18－8

巧练 2　如图 18－9 示的电路中，当可变电阻 R 的阻值增大时（　　）

A. AB 两点间电压 U 增大；

B. AB 两点间电压 U 减小；

C. 通过 R 的电流 I 增大；

D. 通过 R 的电流 I 减小；

E. 通过 R 的电流 I 不变.

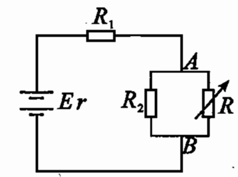


图 18－9

巧练 3　如图 18－10 所示，R_1、R_2、R_3 为定值电阻，但阻值未知，R_x 为电阻箱. 当 $R_{x_1} = 10\Omega$ 时，通过它的电流 $I_{x_1} = 1A$；当 $R_{x_2} = 18\Omega$ 时，通过它的电流 $I_{x_2} = 0.6A$；则当 $I_{x_3} = 0.1A$ 时求电阻 R_{x_3}.

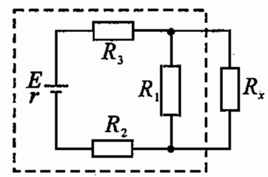


图 18－10

更多资料干货 关注微信公众号 学习第一线 赠送5000G学习大礼包

十九、相似三角形法

相似三角形法是一种应用较为广泛的方法. 具体应用时先画出力的三角形，再寻找与力的三角形相似的空间三角形，由相似三角形建立比例关系求解. 在已知某些空间长度关系时，应考虑用相似三角形法.

例 1　如图 19－1 所示，在悬点 O 处用长为 l 的细绳拉着质量为 m 的小球，在半径为 R 的光滑半球面上静止，已知悬点离半球面的竖直高度为 h，试求半球对小球的支持力和绳对小球的拉力.

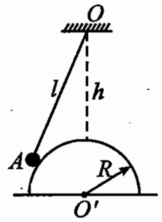


图 19－1

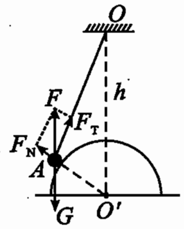


图 19－2

【巧解】　小球受力如图 19－2 所示，由于三个力中任意两个力都不垂直，且三个力构成的三角形中各角都是未知的，故三角形边角关系法，正交分解法均不适用于此题，三角形 $O'OA$ 中各边长度已知，故三角形相似法可将问题解决.

因为 $\triangle O'OA \sim \triangle AFF_N$

所以 $\frac{F_T}{l} = \frac{mg}{R+h}$，$F_T = \frac{l}{R+h}mg$　$\frac{F_N}{R} = \frac{mg}{R+h}$，$F_N = \frac{R}{R+h}mg$

该题巧妙利用力的矢量三角形与几何三角形相似找出解题的突破口. 从解题结果看，F_N 与绳长 l 无关，大小是定值，而 F_T 与绳长 l 有关，F_T 随 l 减小而减小.

例 2　如图 19－3 所示，A、B 是带有等量的同种电荷的两小球，它们的质量都是 m，它们的悬线长度都是 L，悬线上端都固定在同一点 O，B 球悬线竖直且被固定，A 球在力的作用下，在偏离 B 球 x 的地方静止平衡，此时，A 球受到绳的拉力为 T，现在保持其他条件不变，用改变 A 球质量的方法，使 A 在距 B 球 $\frac{1}{2}x$ 处平衡，则 A 受的绳的拉力为（　　）

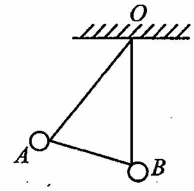


图 19－3

A. T　　B. $2T$　　C. $4T$　　D. $8T$

【巧解】　取 A 球为研究对象，则其受到重力 G，库仑力 F 和绳的拉力 T 三个力平衡，受力如图 19－4 所示. 设电荷电量为 q，由力

三角形和△OAB 相似有

$\frac{T'}{L}=\frac{F}{\frac{1}{2}x}$ 又因为库仑力 F 与两球间距离的平方成反比 $F=k\frac{q^2}{(\frac{1}{2}x)^2}$ 故 $T'=8Lkq^2/x^3=8T$ 故答案为 D

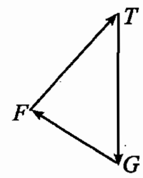


图 19－4

巧练1 一航天探测器完成对月球的探测任务后，在离开月球的过程中，由静止开始沿着与月球表面成一倾斜角的直线飞行（如图 19－5 示），先加速运动，再匀速运动．探测器通过喷气而获得推动力，以下关于喷气方向的描述中正确的是（　　）

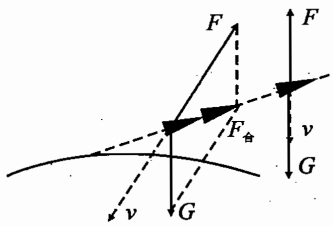


图 19－5

A. 探测器加速运动时，沿直线向后喷气

B. 探测器加速运动时，竖直向下喷气

C. 探测器匀速运动时，竖直向下喷气

D. 探测器匀速运动时，不需要喷气

巧练2 如图 19－6 所示，一个重力为 mg 的小环套在竖直的半径为 r 的光滑大圆环上，一劲度系数为 k，自然长度为 L（L＜2r）弹簧的一端固定在小环上，另一端固定在大圆环的最高点 A．当小环静止时，略去弹簧的自重和小环与大圆环间的摩擦．求弹簧与竖直方向之间的夹角 φ．

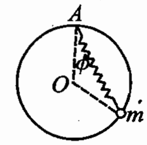


图 19－6

巧练3 如图 19－7 所示，墙壁上的 Q 处有一固定的质点 A，在 Q 上方 P 点用绝缘丝线悬挂另一质量的小球 B，A，B 带同种电荷后而使悬线与竖直方向成 β 角．由于漏电使带电荷量逐渐减少，在电荷漏完之前悬线对 P 点的拉力大小（　　）

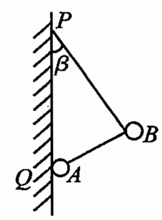


图 19－7

A. 保持不变；　　B. 先变小后变大；

C. 逐渐减小；　　D. 逐渐增大．

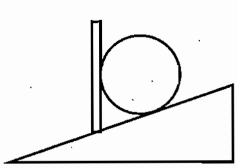
更多资料干货 关注微信公众号 学习第一线 赠送5000G学习大礼包

二十、矢量图解法

运用平行四边形或三角形法则对物体的受力情况或运动情况进行分析是研究物理问题的重要方法之一，它在求极值以及展示力的非单调性变化方面简洁明了．

例1 一球放在光滑斜面和光滑挡板间，开始挡板位于竖直方向，如图 20－1 所示，把板逆时针缓慢转向水平的过程中，球对斜面和对挡板的压力将如何变化？

【巧解】 球的重力产生了两个效果：使球紧压斜面和挡板，将重力 G 沿垂直于斜面及挡板的方向分解，两分力 F_1、F_2 分别等于球对斜面和挡板的压力，随挡板逆时针转动，分力 F_2 的大小、方向都发生变化，如图 20－2 所示，从图中可以看出，随板逆时针转向水平的过程中，分力 F_1 的方向不变，大小在不断减小；分力 F_2 先减小后增大，当挡板垂直于斜面时，F_2 有最小值．


图 20－1

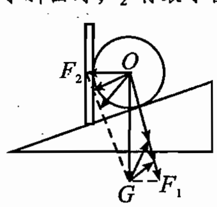


图 20－2

例2 河宽为 L，船对水的速度为 $v_船$，水的流速为 $v_水$，试求：(1) 当 $v_船>v_水$ 时，船如何渡河位移最小？最小位移是多少？(2) 当 $v_船<v_水$ 时，船如何渡河位移最小？最小位移是多少？

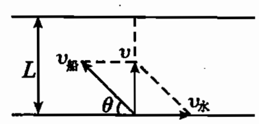


图 20－3

【巧解】 (1) 如图 20－3 所示，当 $v_船>v_水$，船的合速度 v 垂直河岸时，渡河位移最小，且等于河宽，即 $S_{min}=L$，所以，船头应斜对上游，且和河岸的夹角为 $\theta=\arccos\frac{v_水}{v_船}$

(2) 如图 20－4 所示，当 $v_船<v_水$ 时，船的合速度 v 不能垂直于河岸，而是斜向下游，v 和河岸夹角 α 最大，即 $v_船$ 和河岸夹角 θ 最小时，渡河位移最小，以 $v_水$ 的矢尖为圆心，以 $v_船$ 大小为半径画圆，当 v 和圆相切，即 $v_船$ 垂直于 v 时，α 角最大，θ 最小，

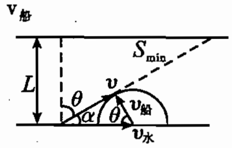


图 20－4

渡河位移最小，$S_{min}=\frac{L}{\cos\theta}=\frac{L}{\frac{v_船}{v_水}}=\frac{v_水}{v_船}L$，

多资料干货 关注微信公众号 学习第一线 赠送5000G学习大礼包

这时船头和河岸夹角为 $\theta = \arccos\frac{v_{船}}{v_{水}}$

例3 如图 20－5 所示，质量为 m 的球，放在倾角为 α 的光滑斜面上，试分析：当挡板 AD 与斜面间倾角 β 多大时，AD 所受压力最小？

【巧解】 球所受重力产生的效果为：一是对挡板产生压力 F_1，二是对斜面产生压力 F_2，所以将重力分解，当 β 变化时，F_2 方向不变，F_1 大小方向均改变. 如图 20－6 所示，在矢量三角形 OBF_2 中，矢量 F_1 沿 F_2 滑动，由几何知识可知，F_1 垂直 F_2 时最小，即 $\beta = 90°$ 时，F_1 最小，$F_{1min} = mg\sin\alpha$

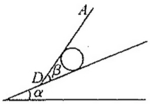


图 20－5

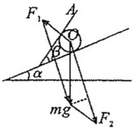


图 20－6

【答案】 $\beta = 90°$ 时，AD 所受压力最小值为 $mg\sin\alpha$

巧练1 一木箱重为 G，与地面动摩擦因数为 μ，现用斜向上的力 F 拉木箱使之沿水平地面匀速前进，如图 20－7 所示. 求拉力 F 与水平方向为何值时拉力最小？这个最小值多大？

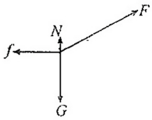


图 20－7

巧练2 如图 20－8 所示，A 与 B 之间夹一自由长为 L 的轻质弹簧，置放在一光滑水平面上，A、B 质量相等，且均静止. 当 F 沿水平向右作用在 A 上，使 A、B 相距最近的过程中，下列说法正确的是(　　)

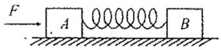


图 20－8

A. 当 $a_A = a_B$ 时，$v_A = v_B$　　　B. $v_A = v_B$ 时，$a_A < a_B$

C. $v_A = v_B$ 时，$a_A = a_B$　　　D. a_A 始终减小，a_B 始终增大

二十一、等效摆长法

等效摆长法是求单摆做简谐运动时，质点做无绳的摆动，或摆长不是简单的悬线长的摆动的一种方法. 等效摆长是从小球质心到摆动圆弧所在平面的弧的圆心之间的距离.

例1 用三根长度均为 L 的细线悬挂一小球，如图 21－1 所示，线 AO、BO 与水平方向的夹角均为 30°，把小球垂直于纸面向外拉开一小角度 $\theta(\theta < 10°)$，求小球的振动周期.

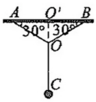


图 21－1

【巧解】 此摆可视为摆长为 CO' 的单摆，其摆长等效为 $L_0 = L + L\sin30° = 3L/2$

小球振动的周期为 $T = 2\pi\sqrt{\frac{3L}{2g}}$

例2 如下图 21－2 所示，AB 为半径 $R = 2m$ 的一段光滑圆槽，A、B 两点在同一水平面上，且 $\overset{\frown}{AB}$ 长 20cm，将小球由 A 点释放，则它运动到 B 所用时间为(　　)

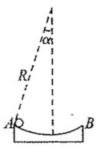


图 21－2

A. $\frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{R}{g}}$　　　B. $\sqrt{\frac{2\pi R}{g}}$

C. $\pi\sqrt{\frac{R}{g}}$　　　D. $2\pi\sqrt{\frac{R}{g}}$

【巧解】 先分析小球在 $\overset{\frown}{AB}$ 上运动是否类似于单摆作简谐运动，半径为 $2m$ 的圆的周长 $S = 2\pi R = 2\times3.14\times2m = 12.5m$，所对圆心角为 360°，那么 $\overset{\frown}{AB}$ 长 20cm＝0.2m，所对圆心角 2α，则 $\frac{2\alpha}{360°} = \frac{0.2}{12.56}$，$\alpha = 2.8 < 10°$，符合单摆作简谐运动的条件.

故小球从 A 到 B 可视为单摆的半周期 $\frac{T}{2} = \frac{2\pi\sqrt{\frac{R}{g}}}{2} = \pi\sqrt{\frac{R}{g}}$，故 C 选项正确.

说明： 本题主要考查单摆周期公式的应用，关键是判断小球从 A 到 B 是否符合单摆作简谐振动的条件：(1)分析小球的受力情况可知它和单摆摆球的受力情况相似，只不过单摆摆球受到的是绳的拉力而本题由支持力代替.(2)分析小球从 A 点到平衡位置弧长所对圆心角是否小于 10°.

例3 如图 21－3 所示，是记录地震装置的水平摆示意图，摆球 m 固定在边长为 L、质量可忽略的等边三角形的顶点 A 处，它的对边 BC 与竖直线成不大的 α 角，摆球可沿固定轴 BC 摆动，则摆球做微小振动时周期为多大？

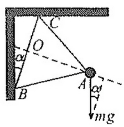


图 21－3

对此种情况，应注意确定摆动平面、等效摆长和等效重力加速度.

【巧解】 此装置摆动时，形成摆球 A 以 BC 为转轴，以纸面

多资料干货 关注微信公众号 学习第一线 赠送5000G学习大礼包

上的 OA 为平衡位置，在近于垂直纸面的向内、向外方向上作微小振动，这时摆球 A 可视为摆长为 AO 的单摆，其等效摆长为 $L' = \frac{\sqrt{3}}{2}L$. 当摆球处在"平衡位置不振动"时，沿等效摆长 AO 方向的等效摆线的拉力 $T=mg\sin\alpha$，即为等效重力 $G'=mg\sin\alpha$.

故此摆的周期 $T=2\pi\sqrt{\frac{\sqrt{3}L}{2g\sin\alpha}}$

巧练1 如图 21－4 所示，AC 为一段很短的光滑圆弧轨道，其所对圆心角小于 5°，D 为 AC 上的一点，现将同一小球先后从 C、D 两点由静止释放，到达 A 点的速度分别为 v_1、v_2，所用时间为 t_1、t_2，则应有（　　）

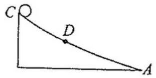


图 21－4

A. $v_1>v_2, t_1>t_2$　　B. $v_1=v_2, t_1=t_2$

C. $v_1>v_2, t_1=t_2$　　D. $v_1>v_2, t_1<t_2$

巧练2 三根长度相等的轻绳如图 21－5 连接并悬挂一体积可以忽略的小球，在最大偏角小于 5 度的条件下，若使小球在悬点 A、B 所在的竖直平面内摆动，测得周期为 T_0，设想该装置在月球表面，使小球在垂直 A、B 所在平面摆动，已知月球表面重力加速度为地球表面重力加速度的 1/6，求在月球上小球的振动周期？

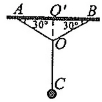


图 21－5

二十二、等效重力加速度法

等效重力加速度法：是一种解质点在重力场或复合场中，质点相对于悬点静止时，悬线受到的拉力发生了改变（相对重力而言）一类题的一种解法.

等效重力加速度 g' 值，等于摆球在"平衡位置相对悬点静止时，摆线受到的拉力 F 与摆球质量 m 的比值"，即 $g'=F/m$.

（1）单摆位于天体表面附近摆动时，设天体的质量为 M、半径为 R，摆球的质量为 m，则其等效重力 $mg'=GMm/R^2$，等效重力加速度 $g'=GM/R^2$.

例1 某行星质量是地球质量的一半，该行星半径又是地球半径的一半，则一个单摆在这个行星的振动频率是它在地球上振动频率的（　　）

A. 2 倍　　B. $\sqrt{2}$倍　　C. 4 倍　　D. $\frac{1}{4}$倍

【巧解】 由 $mg=GMm/R^2$ 有

$\frac{g_{地}}{g_{星}}=\frac{M_{地}R_{星}^2}{R_{地}^2M_{星}}=\frac{M_{地}(R_{星}/2)^2}{M_{地}R_{地}/2}=\frac{1}{2}$　由 $T=2\pi\sqrt{l/g}$ 可知

$T_{地}/T_{星}=\sqrt{g_{星}/g_{地}}=\sqrt{2}$　而 $f=1/T$，故正确选项为 B.

（2）单摆处在加速装置内做简谐运动时，等效重力加速度 g' 值，等于摆球在"平衡位置相对悬点静止时，摆线受到的拉力与摆球质量的比值".

例2 在以加速度 a 匀加速上升的电梯中，有一摆长为 l 的单摆，如图 22－1 所示，当单摆相对于电梯做简谐运动时，求其周期 T 为多大？



图 22－1

【巧解】 当摆球处在"平衡位置不振动"（相对电梯）时，线的拉力为 $F=m(g+a)$，等效重力 $G'=m(g+a)$，等效重力加速度 $g'=g+a$.

所以单摆的周期 $T=2\pi\sqrt{\frac{l}{g+a}}$

例3 设小车以加速度 a 沿倾角为 θ 的斜面向上做匀加速运动时，如图 22－2 所示，求单摆做简谐振动的周期.（答案 $2\pi\sqrt{l/\sqrt{a^2+g^2+2ag\sin\theta}}$）

【巧解】 设小球没有摆动和小车一起沿斜面以加速度 a 运动时，绳与斜面的夹角为 α，绳的拉力为 F，则由牛顿第二定律有

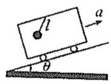


图 22－2

$F\cos\alpha-mg\sin\theta=ma$　和

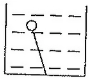
$F\sin\alpha-mg\cos\theta=0$

得 $F^2=(ma)^2+(mg)^2+2magsin\theta$，

则等效重力加速度 $g'=\sqrt{a^2+g^2+2ag\sin\theta}$

故单摆做简谐振动的周期 $T=2\pi\sqrt{l/\sqrt{a^2+g^2+2ag\sin\theta}}$

例4 如图 22－3 所示，已知小木球的半径为 R、木球的密度为水的 $1/n$，将小木球用长度为 L 的细线系在水底，让小木球做小角度的摆动，忽略水的阻力，则小木球摆动的周期为多少？（设水的密度为 ρ）


图 22－3

【巧解】 设小球的体积为 V，由于静止不动时细线的拉力 $F=\rho vg-\frac{1}{n}\rho vg$

则等效重力加速度 $g'=\frac{F}{\frac{1}{n}\rho V}=(n-1)g$

小木球摆动的周期为 $T=2\pi\sqrt{\frac{L}{(n-1)g}}$

多资料干货 关注微信公众号 学习第一线 赠送5000G学习大礼包

(3)单摆在复合场(重力场和电场)中做简谐运动时.

巧练1 假设电梯以加速度 a 匀减速上升时,顶上悬一摆长为 L 的单摆,如图 22－4 所示.单摆做小角度振动的周期为多大?

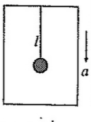


图 22－4

巧练2 如图 22－5 所示,倾角为 θ 的光滑斜面上有一固定点 O,将细绳的一端固定在 O 点上,另一端系一个小球,小球球心到 O 点距离为 L,当小球在平衡位置附近的斜面上摆动时,摆角 α 控制在 5°范围内,则此摆的振动周期 $T=$________.

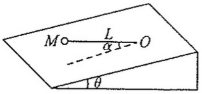


图 22－5

巧练3 (2004·上海高考题)如图 22－6 所示,在光滑水平面上的 O 点系一长为 L 的绝缘线,细线的另一端系一质量为 m,带电量为 $+q$ 的小球.当沿细线方向加上场强为 E 的匀强电场后,小球处于平衡状态,现给小球一垂直于细线的初速度 v_0,使小球在水平面上开始运动,若 v_0 很小,则第一次回到平衡位置所需时间为多少?

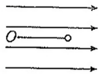


图 22－6

二十三、特值法

在物理习题中,常有一些抽象的条件在解题时不易使用,给解题带来一定的难度,但这时如果我们给这些抽象的条件赋以具体的数值,则常会使问题迎刃而解,这种方法称为特值法.

例1 自由下落的物体第 n 秒内通过的位移比第 $n-1$ 秒内通过的位移多多少?( )

A. $9.8m$ B. $4.9(2n+1)m$

C. $3(n+1)m$ D. $\frac{n^2}{n^2-1}m$

【巧解】 令 $n=2$,很容易可得第 2 秒内位移比第 1 秒位移多 9.8m. 故应选 A.

例2 如图 23－1(a)(b)所示电路,电源相同、各电阻均相等,各电流表内阻也相等.电流表 A_1、A_2、A_3、A_4 的读数分别为 I_1、I_2、I_3、I_4,下列说法正确的是( )

A. $I_1=I_2$ B. $I_1<I_4$ C. $I_2=2I_1$ D. $I_2<I_3+I_4$

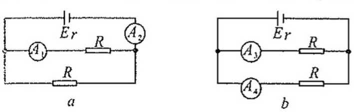


图 23－1

【巧解】 令 $E=2V$, $R=r=12\Omega$,由闭合电路欧姆定律可得: $I_1=0.25A$, $I_2=0.75A$, $I_3=I_4=0.5A$,由此可快速确定正确答案为 B、D

例3 如图 23－2 所示,两点电荷所带电量均为 $+Q$, A 处有一电子沿两电荷连线的中垂线运动,方向指向 O 点.设电子原来静止, A 点离 O 点足够远,电子只受电场力作用那么电子的运动状态是( )

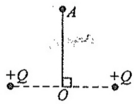


图 23－2

A. 先匀加速,后匀减速

B. 加速度越来越小,速度越来越大

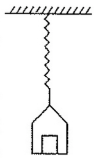
C. 加速度越来越大,速度越来越小

D. 加速度先变大后变小,最后变为零

【巧解】 本题如定量分析有些困难,但用特殊值分析法,变得相当容易,且概念清晰.设 A 点在无限远,其电场强度为零,那么电子所受电场力为零;而在 O 点处的场强也为零,故电子在 O 点处受电场力亦为零;所以,电子在从 A 向 O 运动的过程中,所受电场力必有一个最大值,因此电场力一定由小到大,再由大到小至零.由牛顿第二定律知:加速度的值应是先由小变大,再由大变小,以至最后变为零;但速度是一直增大的,可见正确答案为 D.

评注 在用特殊值分析法解题时,分析相关物理量的变化,必须注意变化过程中"拐点(转折点)"的存在性,"拐点"的寻找是解题的关键.

巧练1 一轻质弹簧,其上端固定下端挂一质量为 m_0 的平盘,盘中有质量为 m 的物体,如图 23－3 所示当平盘静止时,弹簧长度比其自然长


图 23－3

多资料干货 关注微信公众号 学习第一线 赠送5000G学习大礼包

度伸长了 L,今向下拉平盘使弹簧再伸长 ΔL 后停止,然后放开手.设弹簧始终处在弹性限度之内,则刚放手时盘对物体的支持力为:(　　)

A. $\frac{L+\Delta L}{L}mg$　　B. $\frac{L+\Delta L}{L}(m_0+m)g$

C. $\frac{\Delta L}{L}mg$　　D. $\frac{\Delta L}{L}(m_0+m)g$

巧练2　在水平地面上平铺 n 块砖,每块砖的质量均为 m,厚为 h,若将砖一块一块地竖直叠放起来,人需要做的功为(　　)

A. n^2mgh　　B. $\frac{1}{2}n^2mgh$

C. $\frac{1}{2}n(n-1)mgh$　　D. $n(n-1)mgh$

巧练3　两个定值电阻 R_1,R_2 串联后接在输出电压为 U 稳定于 12V 的直流电源上.在人把一个内阻不是远大于 R_1,R_2 的电压表接在 R_1 两端,如图 23-4 所示,电压表的示数为 8V,若把电压表改接在 R_2 两端,则电压表的示数将(　　)

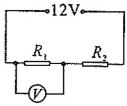


图 23-4

A. 小于 4V

B. 等于 4V

C. 大于 4V 小于 8V

D. 等于或大于 8V

二十四、极值法

所谓极值法,也叫极端法,就是依据题目所给的具体条件,假设某种极端的物理现象或过程存在并做科学分析,从而得出正确判断或导出一般结论的方法.这种方法对分析综合能力和数学应用能力要求较高,一旦应用得恰当,就能出奇制胜.常见有三种:极端值假设、临界值分析、特殊值分析.处理极值问题的两种基本方法:

A.解析法:根据物体的平衡条件列方程,通过数学求极值的方法求极值.思维严谨,但有时运算量比较大,相对来说较复杂.

B.图解法:即根据物体的平衡条件作出力的矢量三角形,然后由图进行动态分析,确定最大值和最小值.此法简便、直观.通常可利用几何极值原理:如图 24-1 所示:三角形一条边 a 的大小和方向都确定,另一条边 b 只能确定其方向(即 a、b 间的夹角 θ 角确定),欲求第三边的最小值,则必有 c 垂直于 b,且 $c=a\sin\theta$.

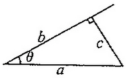


图 24-1

例1　如图 24-2 所示,P、Q 是两个电量相等的正点电荷,它们连线的中点是 O,A、B 是中垂直线上的两点 $OA<OB$,用 E_A,E_B,U_A,U_B 分别表示 A,B 两点的场强和电势,则(　　)

A. E_A 一定大于 E_B,U_A 一定大于 U_B

B. E_A 不一定大于 E_B,U_A 一定大于 U_B

C. E_A 一定大于 E_B,U_A 不一定大于 U_B

D. E_A 不一定大于 E_B,U_A 不一定大于 U_B

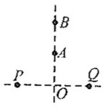


图 24-2

【巧解】　A、B 两点电势较容易确定为 $U_A>U_B$,在中垂线上由极值法可知:$E_0=0$,$E_\infty=0$,因此在中垂线上 0 到 ∞ 的过程中存在场强最大的点,A、B 处在此点同侧还是异侧无法确定,所以无法比较 E_A,E_B 的大小.故应选 B

例2　如图 24-3 所示电路中,电源电动势为 E,内电阻为 r,如果变阻器滑片向右滑动,关于电流表和电压表读数变化的说法正确的是(　　)

①电流表示数变大;②电流表示数变小;③电压表示数变大;④电压表示数变小

A. ①③　　B. ①④

C. ②③　　D. ②④

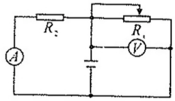


图 24-3

【巧解】　由极值分析法:当滑片滑到最右端时变阻器、电压表、电流表均被短路,电压表、电流表读数均为零.由此可知当滑片向右滑时电压表、电流表读数均变小.故应选 D.

巧练1　如图 24-4 所示,质量为 M 的小车置于光滑的水平面上,有一质量为 m,速度为 v_0 的小物体从水平方向射入光滑轨道上,设小物体一直不离开轨道,则在轨道上上升的最大高度为(　　)(提示:设 $M\to\infty$,可认为小车不动)

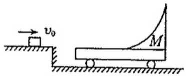


图 24-4

A. $\frac{mv_0^2}{2(M+m)g}$　　B. $\frac{Mv_0^2}{2(M+m)g}$

C. $\frac{Mv_0^2}{2mg}$　　D. $\frac{mv_0^2}{2Mg}$

巧练2　如图 A、B、C 是三盏规格相同的,接在一台理想变压器原、副线圈的电灯,如图 24-5 所示,在某一恒定电压下电灯均正常发光.若把开关断开,则 A 灯亮度将________(填"变亮"、"变暗"或"不变")(设灯的电阻不变)(提示:把负线圈负载全部断开)

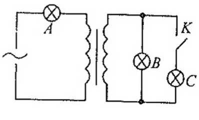


图 24-5

多资料干货 关注微信公众号 学习第一线 赠送5000G学习大礼包

二十五、守 恒 法

守恒法即利用物理学中的守恒定律来解题的方法.物理学中有很多守恒守律,例如质量守恒、电荷守恒、动量守恒、机械能守恒、总能量守恒等.有的守恒定律是在一定的条件下才成立,应用时应该先分析是否满足守恒条件,只有在满足守恒条件的情况下才能应用该守恒定律.

例1 下列关于机械能守恒的说法中,正确的是(　　)

A. 做匀速直线运动的物体机械能一定守恒

B. 做匀变速直线运动的物体机械能不可能守恒

C. 如果物体不受摩擦力和介质阻力的作用,其机械能一定守恒

D. 如果物体只发生动能和势能相互转换,其机械能一定守恒

【巧解】 本题是单纯判断四种情形下物体的机械能是否守恒,这要求我们能正确把握机械能守恒的条件.机械能是否守恒,取决于是否有重力以外的力做功,很明显,从A,B,C三个选项中,我们并不能肯定除重力外其他力的做功情况,也就不能肯定在这三种情形下物体的机械能是否守恒,故不能选择选项A,B,C.若物体只发生动能和势能的相互转换,很显然物体的机械能是守恒的,故应选择选项D.

【答案】 D

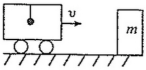


图 25－1

例2 在质量为M的小车中挂有一个单摆,摆球的质量为m_0,小车(和摆球一起)以恒定的速度v沿光滑水平面运动,与位于正对面的质量为m的静止木块发生碰撞(如图25－1所示),碰撞的时间极短,在此碰撞过程中,下列可能发生的情况是(　　)

A. 小车、木块、摆球的速度都发生变化,分别变为v_1、v_2、v_3,满足$Mv=Mv_1+mv_2+m_0v_3$

B. 摆球的速度不变,小车和木块的速度分别变为v_1,v_2,满足$Mv=Mv_1+mv_2$

C. 摆球的速度不变,小车和木块的速度均变为v_1,满足$Mv=(M+m)v_1$

D. 小车和摆球的速度均变为v_1,木块的速度变为v_2,满足$(M+m_0)v=(M+m_0)v_1+mv_2$

【巧解】 本题的四个选项是单纯涉及动量守恒定律的问题,本题的关键词是小车"沿光滑水平面运动",木块也置于光滑水平面上,所以系统在水平方向不受外力,碰撞前后系统的动量守恒.另一个关键词是"碰撞时间极短",因此,小车和木块碰撞时,小车和木块间的作用力只能使小车和木块的动量发生变化,而不能使摆球的动量发生变化.因此,列方程时,只需列出小车与木块动量守恒的表达式,考虑到小车和木块碰撞后可能分离,也可能粘合运动,故答案B、C正确.

【答案】 B、C

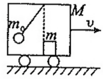


图 25－2

例3 在质量为M的小车中挂有一个单摆,摆球的质量为m_0,摆球偏离竖直位置θ角,小车和单摆一起以恒定的速度v沿光滑水平地面运动,然后释放摆球,与静止放在车厢内摆线悬挂点正下方的质量为m的木块发生正撞(如图25－2所示),且碰撞时间极短,在此碰撞过程中,下列可能发生的情况是(　　)

A. 小车、木块、摆球的速度都发生变化,分别变为v_1、v_2、v_3,满足$(M+m+m_0)v=Mv_1+mv_2+m_0v_3$

B. 木块和摆球的速度均变为v_1,小车的速度变为v_2,满足$(M+m+m_0)v=(m+m_0)v_1+mv_2$

C. 小车的速度不变,小球和木块的速度均变为v_1,满足$m_0v=(m+m_0)v_1$

D. 小车的速度不变,小球和木块的速度分别变为v_1,v_2,满足$(m+m_0)v=m_0v_1+mv_2$

【巧解】 小球在下摆过程中,整个系统在水平方向上合外力为零,故水平方向上动量守恒,小球在下摆时势能减小,其水平向右的动量增加,小车与木块的动量将减小,即碰前三个物体水平方向的速度均发生了变化.故C、D两选项错误.以系统为对象,将下摆及碰撞两过程看成一个过程,水平方向上动量守恒,碰后小球与木块可能分开运动,也可能粘合在一起运动,故两种可能,即A、B两选项正确.如果只考虑碰撞过程,则在碰撞前后,小车的速度不变(但不是初速v),但碰前无论是小球还是木块,其速度均不是初速v,故C、D两选项中的动量守恒式子是错误的.

【答案】 A、B

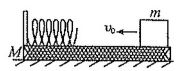


图 25－3

例4 如图25－3所示,质量为$M=3\text{kg}$的木块静止在光滑水平面上,板的右端放一质量为$m=1\text{kg}$的小铁块,现给铁块一个水平向左速度$v_0=4\text{m/s}$,铁块在木板上滑行,与固定在木板左端的水平轻弹簧相碰后又返回,且恰好停在木板右端,求铁块与弹簧相碰过程中,弹性势能的最大值E_p.

【巧解】 在铁块运动的整个过程中,系统的动量守恒,因此弹簧压缩最大时和铁块停在木板右端时系统的共同速度(铁块与木块的速度相同)可用动量守恒定律求出.在铁块相对于木板往返运动过程中,能量守恒,系统总机械能损失等于产生的热量(摩擦力和相对运动距离的乘积),可利用能量关系分别对两过程列方程解出结果.

设弹簧压缩量最大时和铁块停在木板右端时系统速度分别为v_1和v_2,由动量守恒得:$mv_0=(M+m)v_1=(M+m)v_2$所以,

多资料干货 关注微信公众号 学习第一线 赠送5000G学习大礼包

$v_1 = v_2 = mv_0/(M+m) = 1\times4/(3+1) = 1\text{m/s}$

铁块刚在木板上运动时系统总动能为：$E_K = (1/2)mv_0^2 = 0.5\times1\times16 = 8\text{J}$

弹簧压缩量最大时和铁块最后停在木板右端时，系统总动能都为：

$E_K' = (1/2)(M+m)v_1^2 = 0.5\times(3+1)\times1 = 2\text{J}$

铁块在相对于木板往返运动过程中，克服摩擦力 f 所做的功为：

$W_f = 2fL = E_K - E_K' = 8 - 2 = 6\text{J}$

铁块由开始运动到弹簧压缩量最大的过程中，系统机械能损失为：$fs = 3\text{J}$

由能量关系得出弹性势能最大值为：

$E_p = E_K - E_K' - fs = 8 - 2 - 3 = 3\text{J}$

【答案】 $E_p = 3\text{J}$

巧练1 两个完全相同的金属小球 A、B 带有等量的电荷量，相隔一定的距离，两球间的库仑力为 F，今让第三个相同的不带电金属小球 C 先后与 A、B 两球接触后移开，这时 A、B 两球之间的相互作用力的大小是（　　）

A. $F/2$　　B. $F/4$　　C. $3F/4$　　D. $3F/8$

巧练2 一根粗细均匀的电阻丝，其电阻为 4Ω. 今将它均匀拉长为原来的2倍，则其电阻变为______Ω. 若不是将它拉长，而是将它对折起来并联使用，则其电阻为______Ω（电阻丝温度不变）

二十六、模　型　法

模型法即针对物理问题的特点，抓住其主要因素，排除次要因素，提出物理模型，将对具体问题的研究转化为对物理模型的研究. 这种方法的思维过程是，分析物理问题的条件、研究对象、物理过程的特征，建立与之适应的物理模型，通过模型思维进行推理、求解.

在中学阶段所研究的物理模型大致可分为两类：一是研究对象模型，就是把我们所研究的有形的实体抽象为某种理想化了的模型，如：质点、刚体、弹簧振子、单摆、点电荷、试探电荷、理想导体、理想电源、理想电表、纯电阻、纯电容、纯电感、环行电流、直线电流、理想变压器、点光源、原子模型、均匀介质、匀强电磁场、轻杆、轻绳、光滑平面等；二是过程模型，就是把我们研究的具体物理过程抽象为某种理想化了的过程，如：匀速直线运动、匀变速直线运动、匀速圆周运动、平抛运动、简谐运动、弹性碰撞、完全非弹性碰撞、稳恒电流、磁场中通电导体在导轨上的运动模型、链式反应模型等.

解题时应首先将题中所述的物理现象或过程抽象为某种物理模型，用理想化了的模型揭示在表面现象掩盖下的物理本质. 只有正确地建立了物理模型，才能真正透析问题的本质特征. 因此，物理模型的正确建立是求解问题的前提.

例1 跳绳是一种健身运动，某同学质量是50kg，他每分钟能跳180次，假定他每次与地面接触的时间等于一次跳绳时间的2/5. 那么他这样跳绳时，克服重力做功的平均功率等于多少？（$g = 10\text{m/s}^2$）

【巧解】 人跳绳时是跳起又落下，等同于同一物体上抛又下落，所以跳绳的腾空过程可用竖直上抛的运动模型代替.

人每跳一次所用时间为：$T = 60/180\text{s} = 1/3\text{s}$

人腾空时间为：$t = (1-2/5)\times(1/3)\text{s} = 1/5\text{s}$

所以人起跳的初速度为：$v = g\times t/2 = 10\times1/10\text{m/s} = 1\text{m/s}$

起跳时的动能：$E_k = mv^2/2 = 50\times1^2/2\text{J} = 25\text{J}$

人起跳时的动能就等于上升阶段克服重力所做的功，所以他跳绳时克服重力做功的平均功率为：$P = (1/2)mv^2/T = 75\text{W}$

【答案】 $P = 75\text{W}$

例2 宇航员站在一星球的表面上的某高处，沿水平方向抛出一个小球，经过时间 t，小球落在星球表面，测得抛出点与落地点之间的距离 L. 若抛出时的初速度增大到两倍，则抛出点与落地点之间的距离为 $3L$，已知两落地点在同一水平面上，该星球的半径 R，万有引力常数 G，求该星球的 M.

【巧解】 本题虽披着宇航员的外衣，好像是一个利用人造卫星求星球质量的万有引力问题，运动模型好像是匀速圆周运动. 但经仔细审题不难发现，本题实质上只是一个平抛运动问题.

该星球的质量和半径分别 M 和 R，则在星球表面有：$mg = GMm/R^2$

该宇航员平抛物体的起始高度为 h，第一次平抛初速度为 v，下落时间为 t，平抛水平距离为 X_1，则有：$X_1 = vt$，$h = \frac{1}{2}gt^2$，$L^2 = X_1^2 + h^2$

第二次平抛有：$X_2 = 2vt$，$h = \frac{1}{2}gt^2$，$(3L)^2 = x_2^2 + h^2$

联立上面各式可得：$M = \frac{3\sqrt{3}LR}{3Gt}$

【答案】 $M = \frac{3\sqrt{3}LR}{3Gt}$

例3 质量为 M 的大炮，水平发射一质量为 m 的炮弹. 若炮车固定不动时，则炮弹击中前方竖直山壁上的 A 点，A 点低于炮口水平线为 h_0. 若炮车可自由移动时，则炮弹击中 A 点下方 B 点. 如果两次发射中火药在爆炸中转化的机械能大小相等，那么，A、B 两点间距为多少？

多资料干货 关注微信公众号 学习第一线 赠送5000G学习大礼包

【巧解】 首先弄清火药爆炸做功时转化的机械能是如何分配的．当炮车固定时，火药做功转化的机械能都给了炮弹，所以有 $E=\frac{1}{2}mv_0^2$；

当炮车不固定时，火药做功转化的机械能一部分给了炮弹，另一部分给了炮车，所以炮车不固定时发射炮弹的出口速度比炮车固定时的出口速度要小，炮弹离开炮口后做平抛运动，在水平距离一定时，速度小的炮弹在竖直方向下落的距离大．

当炮车不固定时，系统水平动量守恒，是一个典型的反冲运动模型．炮弹在飞行过程中是平抛运动的模型．本题是两个模型的结合．

大炮不固定时发射炮弹，有：

$$\frac{1}{2}mv_0^2=\frac{1}{2}mv_1^2+\frac{1}{2}Mv_2^2 \quad ①$$

其中 v_1 为炮弹的速度，v_2 为炮车的反冲速度

又系统水平方向动量守恒，有：$0=mv_1-Mv_2$　②

由①、②得 $v_1=\sqrt{\frac{M}{M+m}}v_0$

由平抛知识有：$h_0=\frac{1}{2}g(\frac{x}{v_0})^2$ 和 $h_1=\frac{1}{2}g(\frac{x}{v_1})^2$

其中 x 是炮口到山壁的水平距离，h_1 是 B 低于炮口水平线的竖直距离 $AB=h_1-h_0=\frac{M+m}{M}h_0-h_0=\frac{m}{M}h_0$

【答案】 $H_{AB}=mh_0/M$

例4　两名质量相等的滑冰人甲和乙，他们都静止在光滑的水平冰面上．现在，其中一人向另一人抛出一个篮球，另一人接球后再抛回．如此反复进行几次．甲和乙最后的速率关系是(　　)

A. 若甲最先抛球，则一定是 $v_甲>v_乙$

B. 若乙最后接球，则一定是 $v_甲>v_乙$

C. 只有甲最先抛球，乙最后接球，才有 $v_甲>v_乙$

D. 无论怎样抛球和接球，都有 $v_甲>v_乙$

【巧解】 无论甲还是乙，无论是哪次抛球，抛球过程水平方向上动量守恒，类似于碰撞问题，我们可以用碰撞模型来分析．

系统初状态处于静止，总动量为零，若甲最后接球则有：$(M+m)v_甲=Mv_乙$

若甲最后接球则有：$(M+m)v_乙=Mv_甲$，故选 B

【答案】 B

巧练1　质量为 M 的小孩穿着冰鞋站在光滑的冰面上，第一次小孩借助于树根使其不能滑动，将一个质量为 m 的铅球水平推出去，落地点与人的水平距离为 s_1；第二次小孩站在冰面上没有任何依托而将铅球水平推出，如果小孩两次推球时所做的功相同，求铅球落地时，球和小孩的水平距离 s_2 又是多少？

巧练2　质量为 M 的木块放在光滑的水平桌面上处于静止状态．今有一颗质量为 m，速度为 v_0 的子弹沿水平方向击中木块并留在其中与木块共同运动．则子弹击中木块的过程中，木块受的冲量大小为(　　)

A. mv_0　　B. $mv_0-\frac{mMv_0}{m+M}$　　C. $\frac{mMv_0}{m+M}$　　D. $mv_0+\frac{m^2v_0}{m+M}$

二十七、模　式　法

模式法即在求解同种类型问题时按相同的思维模式或程序对问题进行分析、判断、求解的解题方法．解不同类型的问题，可能要用不同的思维模式．故需对所求解的问题类型及与其相对应的思维模式相当熟悉，才能应用自如．

解动力学问题的一般模式是：①选取研究对象；②对研究对象进行受力分析，分析研究对象所处的状态或发生的过程的能量转化；③建立坐标系；④根据牛顿运动定律、运动学公式、题目给定的条件列方程；⑤解方程，对解进行分析、检验或讨论．

解动量守恒问题的一般模式是：①选取研究对象(系统)；②分析对象的受力，并区分内力与外力，进而判断能否应用动量守恒定律解题；③明确对象初末状态的动量；④选择正方向，建立动量守恒方程；⑤解方程，并对解进行分析、检验或讨论．

解电路动态分析问题的一般模式是：①分析电路结构，明确各电阻的串并联关系；②明确某个电阻变化情况；③确定闭合回路总电阻的变化情况；④确定总电流的变化情况；⑤确定内电压的变化情况；⑥确定外电压的变化情况；⑦再由串并联知识，确定各分电流或各分电压的变化情况；

例1　如图 27－1 所示，传送带以恒定的速度 $v=10\text{m/s}$ 运动，已知传送带与水平面成 $\theta=37°$ 角，$PQ=16\text{m}$，将一小物块无初速地放在传送带上 P 点，物块与此传送带间的动摩擦因数 $\mu=0.5$，$g=10\text{m/s}^2$，当传送带逆时针转动时，小物块运动到 Q 点的时间为多少？($\sin37°=0.6$　$\cos37°=0.8$)

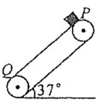


图 27－1

【巧解】 本题属动力学问题，下面用解动力学问题的一般模式分析如下：

多资料干货 关注微信公众号 学习第一线 赠送5000G学习大礼包

①(选对象)以小物块为研究对象;

②(分析受力及过程与状态)当物块下滑速度小于传送带速度时,物块所受摩擦力斜向下,设加速度为 a_1,运动时间为 t_1,对地位移为 S_1;当物块下滑速度大于传送带速度时,物块所受摩擦力斜向上,设加速度为 a_2,运动时间为 t_2,对地位移为 S_2;

③(列方程并求解)由牛顿第二定律得:$a_1=(mg\sin\theta+\mu mg\cos\theta)/m=g\sin\theta+\mu g\cos\theta=10\text{m/s}^2$ 加速度时间 $t_1=v/a_1=1\text{s}$,加速位移 $S_1=\frac{1}{2}a_1t_1^2=\frac{1}{2}\times10\times1^2=5\text{m}$

因 $mg\sin\theta>\mu mg\cos\theta$,故速度相等后,仍加速,$a_2=g\sin\theta-\mu g\cos\theta=2\text{m/s}^2$

加速位移 $S_2=PQ-S_1=16-5=11\text{m}$,又因 $S_2=vt_2+\frac{1}{2}at_2^2$,代入数据化简可得:$t_1=1\text{s}$

总时间 $t=t_1+t_2=1+1=2\text{s}$

【答案】 2s

例2 长为 L 质量为 M 的木板 A,静止在光滑水平桌面,有一质量为 m 的小木块 B(可视为质点)以水平速度 v_0 恰好落在木板 A 左端,A、B 之间动摩擦因素为 μ,试求当 B 运动到 A 的中点时,相对于 A 的速度是多少?

【巧解】 B 落在 A 上,$a_B=\frac{\mu m_Bg}{m_B}=\mu g$,方向向左,$B$ 减速.

$a_A=\frac{\mu m_Bg}{m_A}=\frac{\mu m}{M}g$,方向向右,$A$ 加速.

设经过 t 时间 B 到达 A 的中点,有

$S_B=v_0t-\frac{1}{2}a_Bt^2$　$S_A=\frac{1}{2}a_At^2$　$S_B-S_A=\frac{l}{2}$

联解 $(a_A+a_B)t^2-2v_0t+l=0$

$$t=\frac{2v_0-\sqrt{4v_0^2-4l(a_A+a_B)}}{2(a_A+a_B)}$$

$v_B=v_0-a_Bt$ (v_B、v_A 均为相对地面的速度)

$v_A=a_At$

$$v_{BA}=v_B-v_A=\sqrt{v_0^2-\mu gl(1+\frac{m}{M})}$$

【答案】 $v_{BA}=\sqrt{v_0^2-\mu gl(1+\frac{m}{M})}$

例3 在纳米技术中需要移动或修补原子,必须使在不停地做热运动(速率约几百米每秒)的原子几乎静止下来且能在一个小的空间区域内停留一段时间,为此已发明了"激光致冷"技术,若把原子和入射光子分别类比为一辆小车和一个小球,则"激光致冷"与下述的模型很类似.

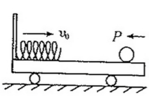


图 27－2

一辆质量为 m 的小车(一侧固定一轻弹簧),如图 27－2 所示,以速度 v_0 水平向右运动,一动量大小为 P,质量可以忽略的小球水平向左射入小车并压缩弹簧至最短,接着被锁定一定时间 Δt,再解除锁定使小球以大小为 $2P$ 的动量水平向右弹出,紧接着不断重复上述过程,最终小车将停下来.设地面和车厢均为光滑,除锁定时间 ΔT 外,不计小球在小车上运动和弹簧压缩、伸长的时间,求:

(1)小球第一次入射后再弹出时,小车的速度的大小和这一过程中小车动能的减少量.

(2)从小球第一次入射开始到小车停止运动所经历的时间.

【巧解】 本题属动量问题,以小球、弹簧、小车整个系统为研究对象,水平方向动量守恒:$mv_0-P=mv_1+2P$

化简可得小球第一次入射后再弹出时,小车的速度的大小 $v_1=v_0-\frac{3P}{m}$

小车动能的减少量

$$\Delta E_1=\frac{1}{2}mv_0^2-\frac{1}{2}mv_1^2=\frac{3P\cdot(2mv_0-3P)}{2m}$$

每次从入射到弹出,小车动量减少 $\Delta P=3P$,故总次数 $n=mv_0/3P$

总时间 $t=n\Delta T=mv_0\Delta T/3P$

【答案】 $t=mv_0\Delta T/3P$

例4 如图 27－3 所示的电路中,A,B,C 为三个相同的灯泡,其电阻大于电源内阻,当电键 k 闭合后变阻器 R 的滑动触头 P 向右移动时(　　)

A. A 灯变亮,B、C 灯变暗

B. A 灯变亮,B 灯变暗,C 灯变亮

C. A 灯变暗,B 灯变亮,C 灯变亮

D. A 灯变亮,B 灯变亮,C 灯变暗

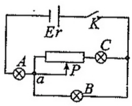


图 27－3

【巧解】 本题属电路的动态分析,用模式法分析如下:

①电路结构为:C 与 R 串联再与 B 并联,最后再与 A 串联;

②P 向右移动时变阻器的有效电阻变小,总电阻变小;

③总电流变大;

④内压增大;外压减小;

⑤A 灯因总电流变大而变亮,A 灯电压变大;因外压减小而 A 灯电压变大故并联电压变小,即 B 灯电压变小电流变小,B 灯变暗;因总电流变大而 B 灯电流变小,故 C 灯电流变大电压变大,C 灯变亮.答案 B 正确.

【答案】 B

巧练 如图 27－4 所示电路,电源内阻不能忽略,R_1 阻值小于变阻器的总电阻($R_1\neq0$),当滑动变阻器的滑片 P 停在变阻器的中点时,电压表的示数为 U,安培表的示数为 I,那么,滑片 P 向上移动的全过程中(　　)

A. 电压表的示数总小于 U

B. 安培表的示数总大于 I

C. 电压表的示数先增大后减小

D. 安培表的示数先减小后增大

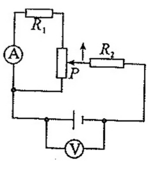


图 27－4

多资料干货 关注微信公众号 学习第一线 赠送5000G学习大礼包

二十八、转　化　法

转化法就是把要解决的问题变换成另一个与之有关系的问题去解答，把复杂问题通过变换转化为较简单的问题，把较难问题通过变换转化为较易的问题，把不熟悉的问题通过变换转化为熟悉的问题，从而达到化难为易、化繁为简的目的.

例1　如图28－1所示，质量为$m=2kg$的物体P放在水平放置的钢板C上，物体与钢板间的动摩擦因数为$\mu=0.2$，由于固定的光滑槽A、B的控制，物体只能沿水平导槽运动. 现使钢板以$v_1=1.732m/s$的速度向右运动，同时用力F沿导槽的方向拉动物体，使物体以$v_2=1m/s$的速度沿导槽运动，则物体所受到的摩擦力大小为f＝________N；拉力F的大小为$F=$________N.

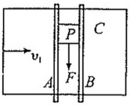


图28－1

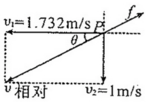


图28－2

【巧解】　如果钢板C不动，拉动P，则滑动摩擦力方向与F方向相反. 这样问题转化成了：物体P与钢板C同时运动时两者间的滑动摩擦力方向是不是与F相反？还是不是二力平衡问题？

如图28－2所示，物体P相对钢板有两个速度，相对合速度如图所示，设摩擦力f方向与v_1的夹角为θ，则$\theta=30°$，再由受力平衡有：$F=f\sin\theta$，而$f=\mu N=\mu mg$；化简可得$f=4N$，$F=2N$.

【答案】　$f=4N$，$F=2N$.

例2　如图28－3所示，容器中盛满水，水中放入P、Q二物体，其中P为铁质，Q为木质，它们用细线分别系于容器的上、下底部，当容器静止时，细线均绷直且竖直，现使容器以某一加速度向右匀加速运动，则此时，P、Q两物体相对于容器，正确选项(　　)

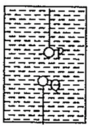


图28－3

①P向左偏移　②P、Q均向左偏移　③Q向右偏移　④P、Q均向右偏移

A. ①②　　B. ①③　　C. ②④　　D. ③④

【巧解】　小球P、Q向右加速运动，因有绳牵住，故④错选；P、Q向右加速运动，因在水中，所受重力，浮力在竖直方向，要靠绳的张力在水平方向的分力产生向右的加速度，②错选.

由于容器整体向右做匀加速运动，容器中水既不超重也不失重，故P、Q所受水浮力大小不变方向竖直向上；P、Q所受重力方向竖直向下；P、Q还受绳的张力；P、Q还受别的力吗？我们这样想：若P、Q不存在，P、Q所在位置的如同P、Q大小的水球也要向右做匀加速运动，可见P、Q位置水球受到水沿水平方向左右侧压力的合力向右，且大小$F=\rho_水 V_球 a$，而球向右加速运动所受合外力$F_P=\rho_铁 V_球 a$，$F_P>F$，故P向左偏移；Q向右加速运动所受合力$F_Q=P_木 V_球 a$，$F_木<F$，故Q向右偏移，①③正确，选B项.

【答案】　B

例3　如图28－4所示，两根平行光滑导轨水平放置，相互间隔$L=0.1m$，质量为$m=3g$的金属棒置于轨道一端，匀强磁场$B=0.1T$，方向竖直向下，轨道平面距地面高度$h=0.8m$，当接通开关k时，金属棒由于受磁场力作用而被水平抛出，落地点水平距离$s=2m$，求接通k瞬间，通过金属棒的电量Q是多少？

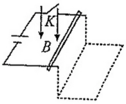


图28－4

【巧解】　由电流定义可知，要求解Q需知道通电时间Δt与通电电流I，本题中这两个物理量均是未知的. 但问题是否可以转化为求Δt与I的乘积呢？

由平抛运动知识得：$s=v_0t$及$h=\frac{1}{2}gt^2$代入数据可得平抛运动的初速度$v_0=5m/s$

在通电时间内由动量定理有：$BLI\Delta t=mv_0$，即$BLQ=mv_0$，代入数据得：$Q=1.5C$

【答案】　$Q=1.5C$

巧练1　如图28－5所示，条形磁铁放在桌面上，一根通电直导线由S极的上端平移到N极的上端的过程中，导线保持与磁铁垂直，导线的通电方向如图所示，则这个过程中磁铁受到的摩擦力(磁铁保持静止)(　　)

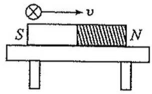


图28－5

A. 为零

B. 方向由左变为向右

C. 方向保持不变

D. 方向由右变为向左

巧练2　如图28－6所示，处于竖直平面内的光滑半圆形槽的半径为R，槽中的P点离最低点O'很近，一质量为m的小球A从槽中的P点无初速释放；另有一完全相同的小球B同时从圆心处O点无初速释放，则(　　)

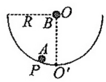


图28－6

A. 小球A先到达最低点

B. 小球B先到达最低点

C. 两球同时到达最低点

D. 无法判断

多资料干货 关注微信公众号 学习第一线 赠送5000G学习大礼包

二十九、气体压强的参考液片法

所谓气体压强的参考液片法，即选取一个假想的液体薄片（自重不计）为研究对象，分析液片两侧受力情况，建立力的平衡方程，消去横截面积，得到液片两侧的压强平衡方程，解方程，求得气体压强的解题方法. 计算的依据是流体静力学知识.

1. 液面下 h 深处由液重产生的压强 $p=\rho gh$. 这里要注意 h 为液柱的竖直高度，不一定等于液柱长度.

2. 若液面与大气相接触，则液面下 h 深处的压强为 $p=p_0+\rho gh$，其中 p_0 为外界大气压.

3. 帕斯卡定律（液体传递外加压强的规律）：加在密闭静止液体上的压强，能够大小不变地被液体向各个方向传递. 此定律也适用于气体.

4. 连通器原理：在连通器中，最底层的同一种液体（中间液体不间断）的同一水平面上的压强是相等的.



图 29－1

例1 如图 29－1 所示，竖直放置的细玻璃管，下端封闭，管中有一段长为 $L=10$cm 的水银柱，水银柱下方封闭有一段空气柱，设大气压强为 $P_0=75$cm 汞柱，则空气柱的压强 P 为(　　)

A. 75cmHg　B. 80cmHg　C. 85cmHg　D. 90cmHg

【巧解】 在水银柱的最下端处选一参考液片，由受力平衡可得：$P_0S+P_LS=PS$（P_L 为水银柱产生的压强，S 为玻璃管的横截面积）化简可得：$P=P_0+P_L=85$cmHg

【答案】 C

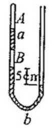


图 29－2

例2 如图 29－2 所示，竖直放置的 U 型玻璃管，右管上端开口，管内有 a、b 两段水银柱，将 A、B 两段空气柱封在管内，若空气柱 A 的压强为 $P_A=60$cm 汞柱，水银柱 b 的两个水银面的高度差为 $\Delta h=5$cm，大气压强为 $P_0=75$cmHg，则水银柱 a 的长度为(　　)

A. 5cm　B. 10cm　C. 15cm　D. 20cm

【巧解】 在右管液面最上方处选一参考液片，由受力平衡可得：$P_0S=P_BS+P_{\Delta h}S$（P_B 为空气柱 B 的压强，S 为玻璃管的横截面积）在 a 水银柱的最下端处选一参考液片，由受力平衡可得：$P_AS+PaS=P_BS$（Pa 为水银柱 a 产生的压强，S 为玻璃管的横截面积）由以上两式化简可得：$Pa=10$cm 汞柱，故水银柱 a 的高度为 10cm

【答案】 B

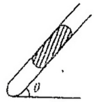


图 29－3

例3 如图 29－3 所示，倾斜放置的细玻璃管，下端封闭，管中有一段长为 $L=10$cm 的水银柱，水银柱下方封闭有一段空气柱，管身与水平方向的夹角为 $\theta=30°$，大气压强 $P_0=75$cm 汞柱. 则管中封闭空气柱的压强 P 为(　　)

A. 75cmHg　B. 80cmHg　C. 85cmHg　D. 90cmHg

【巧解】 在水银柱的最下端处选一与管身垂直的参考液片（圆片），由受力平衡可得：$PS=P_0S+P_LS$，解得 $P=P_0+L\sin\theta=80$cmHg（当 θ 为零时 $P=P_0$）

【答案】 B



图 29－4

巧练1 如图 29－4 所示，竖直放置的细玻璃管，上端封闭，管中有一段长为 $L=10$cm 的水银柱，水银柱上方封闭有一段空气柱，设大气压强为 $P_0=75$cm 汞柱，则空气柱的压强 P 为(　　)

A. 60cmHg　B. 65cmHg　C. 75cmHg　D. 80cmHg

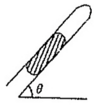


图 29－5

巧练2 如图 29－5 所示，倾斜放置的细玻璃管，上端封闭，管中有一段长为 $L=10$cm 的水银柱，水银柱上方封闭有一段空气柱，管身与水平方向的夹角为 $\theta=30°$，大气压强为 $P_0=75$cm 汞柱，则空气柱的压强 P 为(　　)

A. 65cmHg　B. 70cmHg　C. 75cmHg　D. 85cmHg

三十、气体压强的平衡法

所谓气体压强的平衡法，即根据力的平衡条件求解气体压强的解题方法. 这种方法通常适用于求用固体（如活塞等）封闭在容器中的气体压强问题. 这时应对固体（如活塞等）进行受力分析，然后根据力的平衡条件求解.



图 30－1

例1 如图 30－1 所示，一个横截面积为 S 的圆管形容器竖直放置，金属圆板 A 的上、下表面都是水平的，圆板的质量为 M，不计圆板与容器内壁之间的摩擦，若大气压强为 P_0，则被圆板封闭在容器中的气体的压强 P 为(　　)

多资料干货 关注微信公众号 学习第一线 赠送5000G学习大礼包

A. P_0　　B. P_0-Mg/S　　C. Mg/S　　D. P_0+Mg/S

【巧解】 以圆板 A 为研究对象，对其竖直方向受力进行分析，竖直向下有两个力作用，一个是大气的压力 P_0S，另一个是自身重力 Mg；向上只有封闭气体向上的压力，其值为 PS，由受力平衡得：$P_0S+Mg=PS$. 故答案 D 选项正确.

【答案】 D

例2 如图 30－2 所示，一个横截面积为 S 的圆管形容器竖直放置，金属圆板 A 的上表面是水平的，下表面是倾斜的，下表面与水平面的夹角为 θ，圆板的质量为 M，不计圆板与容器内壁之间的摩擦，若大气压强为 P_0，则被圆板封闭在容器中的气体的压强 P 为(　　)

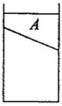


图 30－2

A. $P_0+Mg\cos\theta/S$　　B. $P_0/\cos\theta+Mg/S\cos\theta$

C. $P_0+Mg\cos^2\theta/S$　　D. P_0+Mg/S

【巧解】 以圆板 A 为研究对象，对其竖直方向受力进行分析，竖直向下有两个力作用，一个是大气的压力 P_0S，另一个是自身重力 Mg；向上只有封闭气体斜向上压力的分力，其值为 $(P\cdot\frac{S}{\cos\theta})\cdot\cos\theta=PS$. 由受力平衡得：$P_0S+Mg=PS$. 故答案 D 选项正确.

【答案】 D

例3 封有理想气体的导热气缸开口向下被竖直悬挂，活塞下系有钩码 P，整个系统处于静止状态，如图 30－3 所示. 若大气压恒定，系统状态变化足够缓慢，下列说法中正确的是(　　)

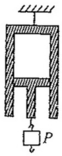


图 30－3

A. 外界温度升高，气体的压强一定增大

B. 外界温度降低，气体的压强不变且活塞将上移

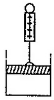
C. 保持气体的内能不变，增加钩码质量，气体压强将减小

D. 保持气体的内能不变，增加钩码质量，气体压强将增大

【巧解】 以活塞及钩码为研究对象，向下受两个力，即其自身重力 Mg 与封闭气体的压力 PS，向上受大气压力 P_0S，由受力平衡有：$Mg+PS=P_0S$，只改变温度，P 不变，故 A 错误；温度降低，P 不变，故体积减小，活塞将上移，故 B 正确；内能不变即温度不变，增加 M，则 P 减小，故 C 正确、D 错误.

【答案】 B、C

例4 如图 30－4 所示装置，光滑活塞把一定质量气体封闭在气缸里，活塞面积 $S=10\text{cm}^2$，若气缸内温度为 27℃时，弹簧秤读数为 $F=10\text{N}$，气缸内气体压强比外界大气压强大 $2\times10^4\text{Pa}$，则活塞重量是(　　)


图 30－4

A. 10N　　B. 20N　　C. 40N　　D. 30N

【巧解】 以活塞为研究对象，向上受封闭气体的压力 PS 及弹力 F，向下受重力 Mg 与大气压力 P_0S，由受力平衡有：$Mg+P_0S=PS+F$，代入数据可得：$Mg=30\text{N}$，故答案 D 正确.

【答案】 D

巧练 如图 30－5 所示，一个内壁光滑的气缸，下端封闭，但开有小孔与大气相通. 有一轻质弹簧下端固定在气缸底部，上端连在活塞 A 上，开始时两个轻质活塞 A、B 把气缸隔成长度都为 L 的三段，缸内横截面积为 S，外界大气压强为 P_0. 现用力 F 将活塞 B 上提到气缸的上端刚好可使系统静止，活塞 A 上升 x，则关于弹簧的倔强系数 k 与 A、B 两活塞内封闭气体的压强 P 与大气压 P_0 的关系判断正确的是(　　)

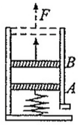


图 30－5

A. 弹簧的倔强系数 $k=P_0\cdot S/x$

B. 弹簧的倔强系数 k 无法确定

C. $P=P_0$

D. $P<P_0$

三十一、气体压强的动力学法

当封闭气体所在的系统处于力学非平衡状态时，欲求封闭气体的压强，首先要恰当地选择研究对象(如与气体相关联的液体、固体等)，并对其进行正确的受力分析(特别要注意分析内外气体的压力)，然后应用牛顿第二定律列方程求解. 这种利用动力学方程即牛顿第二定律求解的方法称为气体压强的动力学法.

例1 竖直放置的细玻璃管，下端封闭，上端开口，管中有一段水银柱，水银柱下方封闭有一段空气柱，若玻璃管足够长，将玻璃管由静止释放，达到稳定状态后，管中空气柱的压强 P 将(　　)

A. 不变　　B. 增大

C. 减小　　D. 可能增大也可能减小

【巧解】 以管中水银柱为研究对象，原来处于平衡状态，故管中空气柱的压强 P 大于大气压；将玻璃管由静止释放后，水银柱处于完全失重状态，合力为重力，即管中空气柱的压强 P 等于大气压. 故答案 C 正确.

【答案】 C

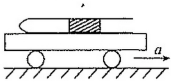


图 31－1

例2 有一根粗细均匀，内部横截面积为 S 的玻璃管，玻璃管右端开口，左端封闭，水平放置在小车上，玻璃管中装有质量为 M 的水银，在其左端封闭着一定质量的空气柱，封闭气体的压强与大气压都是 P_0，如图 31－1 所示. 当小车以加速度 a 水平向右加速运动时，则封闭气体的压强是(　　)

多资料干货 关注微信公众号 学习第一线 赠送5000G学习大礼包

A. $P=P_0+Ma/S$　　B. $P=P_0-Ma/S$

C. $P=P_0$　　D. $P=Ma/S-P_0$

【巧解】 以管中水银柱为研究对象，其水平方向共受二个力作用，由牛顿第二定律得：$PS-P_0S=Ma$，化简可得：$P=P_0+Ma/S$

【答案】 A

例3 有一根粗细均匀，内部横截面积为 S，一端开口一端封闭，管内有长为 H 的水银柱，管内封闭有部分气体，设水银密度为 ρ，大气压强为 P_0，当玻璃管管口向下，且有竖直向下的加速度 a 时，则封闭气体的压强 P 是(　　)

A. $P=P_0$　　B. $P=P_0+\rho H(a-g)$

C. $P=P_0-\rho H(a-g)$　　D. $P=\rho H(a-g)-P_0$

【巧解】 以管中水银柱为研究对象，其竖直方向共受三个力作用，由牛顿第二定律得：$PS+\rho SHg-P_0S=\rho SHa$，化简可得：$P=P_0+\rho H(a-g)$

【答案】 B

例4 有一根粗细均匀，内部横截面积为 S，一端开口一端封闭的玻璃管，管内有长为 H 的水银柱，管内封闭有部分气体，设水银密度为 ρ，大气压强为 P_0，现将玻璃管固定在一个水平转台上，水平转台可绕竖直轴 OO' 匀速转动，如图 31－2 所示，当水平转台以角速度 ω 匀速转动时，水银柱离转轴的距离为 L. 则封闭气体的压强 P 是(　　)

A. $P=P_0+\rho H\omega^2(L+H/2)$

B. $P=P_0-\rho H\omega^2(L+H/2)$

C. $P=P_0$

D. $P=\rho H\omega^2(L+H/2)-P_0$

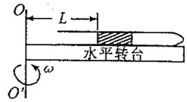


图 31－2

【巧解】 以管中水银柱为研究对象，其水平方向共受二个力作用，由牛顿第二定律得：$PS-P_0S=m\omega^2R=\rho SH\omega^2(L+H/2)$

化简可得：$P=P_0+\rho H\omega^2(L+H/2)$

【答案】 A

巧练1 在例 2 中，如果小车水平向左加速，则关于封闭气体的压强 P 的判断正确的是(　　)

A. $P=P_0+Ma/S$　　B. $P=P_0-Ma/S$

C. $P=P_0$　　D. $P=Ma/S-P_0$

巧练2 在例 4 中，如果玻璃管不是左端开口，而是右端开口，左端封闭，其它条件均不变，则封闭气体的压强 P 是(　　)

A. $P=P_0+\rho H\omega^2(L+H/2)$　　B. $P=P_0-\rho H\omega^2(L+H/2)$

C. $P=P_0$　　D. $P=\rho H\omega^2(L+H/2)-P_0$

三十二、平衡法(有收尾速度问题)

物体在某介质(例如空气、水、油等)中运动时，由于受到介质阻力的作用，物体将作变速运动，而介质阻力往往与速度有关，所以经过短暂的变加速(加速度逐渐变小)运动，物体将会达到一种稳定状态即匀速运动状态. 物理学上把这个匀速的速度称之为物体的收尾速度. 分析这类问题可用平衡法：物体处于平衡状态则所受合外力为零.

例1 如果没有空气(阻力)，当天上的云变成雨之后落下来，在经过一路的加速运动之后，到达地面时的速度会达到 300m/s. 设空气阻力与雨滴下落速度平方成正比，已知毛毛雨(直径 $d_1=0.5$mm)的收尾速度为 $v_1=0.24$m/s，则暴雨(雨滴最大直径 $d_2=5.5$mm 左右)的雨滴最大收尾速度为多少?

【巧解】 由平衡法可知，雨滴达到收尾速度后均处于平衡状态，即阻力等于重力.

小雨滴平衡有：$m_1g=\rho\cdot\frac{4}{3}\pi(\frac{d_1}{2})^3\cdot g=kv_1^2$

大雨滴平衡有：$m_2g=\rho\cdot\frac{4}{3}\pi(\frac{d_2}{2})^3\cdot g=kv_2^2$

对比以上两式化简可得：

$$v_2=\sqrt{(\frac{d_2}{d_1})^3}\cdot v_1=\sqrt{(\frac{5.5}{0.5})^3}\times0.24=8.76\text{m/s}$$

【答案】 8.76m/s

例2 我国发射的“神舟”六号飞船于 2005 年 10 月 12 日上午 9:00 在酒泉载人航天发射场发射升空，按预定计划在太空飞行了接近 115.5 小时，环绕地球 77 圈，在完成预定空间科学和技术实验任务后于北京时间 10 月 17 日 4 时 32 分在内蒙古中部地区准确着陆. 当返回舱降到距地球 10km 时，回收着陆系统启动工作使主伞展开，主伞展开面积足有 1200m^2，由于空气阻力作用有一段减速下落过程，若空气阻力与速度的平方成正比，这一过程的收尾速度为 14m/s. 已知返回舱的质量为 8t，则当返回舱速度为 42m/s 时的加速度为多大? g 取 10m/s^2.

【巧解】 收尾时，飞船匀速运动，受力平衡，有：$kv_1^2=mg$ 当 $v_2=42$m/s 时有：$kv_2{}^2-mg=ma$；联立以上两式可得：$a=80\text{m/s}^2$

【答案】 $a=80\text{m/s}^2$

例3 通过纸锥下落实验的研究性学习，我们发现：一定质量的物体，其在空中下落的收尾速度与它在下落方向上和空气接触的面积的平方根成反比. 借助这一结论我们很容易理解跳伞运动员在空中的运动情况(　　)

A. 跳伞运动员起跳时只受重力作用，落地前他将一直加速下落

B. 跳伞运动员起跳后首先加速下落，打开降落伞后减速下落

C. 跳伞运动员经历了二个收尾速度，且第二个收尾速度一定小第一个收尾速度

多资料干货 关注微信公众号 学习第一线 赠送5000G学习大礼包

D. 跳伞运动员只经历一个收尾速度,即落地前匀速运动的速度

【巧解】 跳伞运动员起跳后受重力与空气阻力两个力作用,A选项错误;随着下落速度的增加,空气阻力也增加,下落加速度越来越小,当空气阻力与运动员的重力相等时,速度达到最大,这是他经历的第一个收尾速度.随后运动员打开降落伞,空气阻力增加,超过重力,运动员开始减速,空气阻力也随之减弱,当两个力再次相等时,运动员的速度达到最小,这是他经历的第二个收尾速度,最后运动员以这一收尾速度落地.

【答案】 B、C

例4 如图32－1所示,平行光滑导轨$MNPQ$相距L,电阻可忽略,其水平部分置于磁感应强度为B的竖直向上的匀强磁场中,导线a和b质量均为m,a、b相距足够远,b放在水平导轨上,a从斜轨上高h处自由滑下,求回路中产生的最大焦耳热.

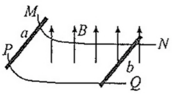


图32－1

【巧解】 本题除了应分析导线a与b都存在收尾速度外,还应知道最终它们收尾速度的关系,以及它们在运动过程中应满足的动量关系和能量关系.

a滑至水平导轨时的速度$v_0=\sqrt{2gh}$;进入磁场后,a棒受向左的安培力而减速,b棒受向右的安培力而加速,当两棒速度相等后,磁通量不变,没有感应电流产生,两棒将匀速运动,即达收尾速度.

两棒系统水平方向动量守恒:$mv_0=2mv_1$;化简可得:$v_1=v_0/2$

最大焦耳热等于系统机械能的损失量:

$Q=mgh-(1/2)2mv_1^2=mgh/2$

【答案】 $Q=mgh/2$

巧练 将例4中光滑导轨变成如图32－2形式,即在NQ后面增加一段宽度为$L/2$的光滑水平导轨NN'、QQ',其他条件不变,即MN、NN'、PQ、QQ'都足够长,求导线a与b的最终速度.

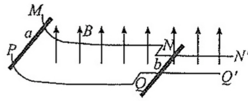


图32－2

三十三、穷 举 法

穷举法即将求解对象的可能性一一列举出来,然后逐一加以分析、处理,并验证是否满足给定条件,穷举完所有对象,问题将最终得以解决.穷举法通常适用于求解多种可能性的问题.

例1 如图33－1所示,斜面倾角为θ,用一个沿斜面向上的力F作用于物体m上,使m静止在斜面上,现不断增大F,但m仍静止,则m与斜面间的摩擦力将(　　)

A. 一定不断增大

B. 一定不断减小

C. 可能先减小后增大

D. 可能先增大后减小

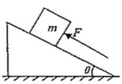


图33－1

【巧解】 本题中初状态时的摩擦力大小及方向不确定,故须用穷举法进行分析.①若初状态时的摩擦力刚好为零,则F增大摩擦力将增大,且方向沿斜面向下;②若初状态时的摩擦力沿斜面向上,则F增大摩擦力将先减小后增大,且方向先沿斜面向上后沿斜面向下;③若初状态时的摩擦力沿斜面向下,则F增大摩擦力将增大,且方向不变.

【答案】 C

例2 一物体做匀变速直线运动,某时刻速度的大小为4m/s,1s后速度大小变为10m/s,在这1s内物体的(　　)

A. 位移的大小可能小于4m

B. 位移的大小可能大于10m

C. 加速度的大小可能小于4m/s^2

D. 加速度的大小可能大于10m/s^2

【巧解】 本题中的末速度方向与初速度方向关系不确定,有两种可能,可用穷举法分析.①若末速度与初速度方向相同,则为匀加速运动,位移为7m,加速度为6m/s^2;②若末速度与初速度方向相反,则该物体先减速后反向加速,位移为－3m,加速度为－14m/s^2.

【答案】 A、D

例3 如图33－2所示,竖直光滑杆上套有一个小球和两根轻质弹簧,两弹簧的一端分别销钉M、N固定于杆上,小球处于静止状态.设拔去销钉M的瞬间,小球的加速度大小为12m/s^2,则若不拔去销钉M,而拔去销钉N的瞬间,小球的加速度可能是($g=10$m/s^2)(　　)

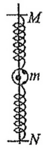


图33－2

A. 22m/s^2,竖直向上　　B. 22m/s^2,竖直向下

C. 2m/s^2,竖直向上　　D. 2m/s^2,竖直向上

【巧解】 拔去销钉M,小球的加速度($a_0=12$m/s^2)方向不确定,有两种可能;两根弹簧的状态(拉伸或压缩)不确定,有四种可能,故须用穷举法来分析.

多资料干货 关注微信公众号 学习第一线 赠送5000G学习大礼包

①若两弹簧均处于拉伸状态,小球静止时有:$F_上=F_下+mg$;

拔去 M 时有(a_0 方向竖直向下):$F_下+mg=ma_0$;

拔去 N 时有(a_0 方向竖直向上):$F_上-mg=ma_1$;

化简可得 $a_1=2m/s^2$,方向竖直向上. 答案C正确.

②若两弹簧均处于压缩状态,小球静止时有:

$F_下=F_上+mg$;

拔去 M 时有(a_0 方向竖直向上):$F_上-mg=ma_0$(因为加速度大于 g,故只可能向上);

拔去 N 时有(a_0 方向竖直向下):$F_上+mg=ma_1$;

化简可得 $a_1=22m/s^2$,方向竖直向下. 答案B正确.

③若上面弹簧处于拉伸状态而下面弹簧处于压缩状态,平衡时有:$F_下+F_上=mg$,则撤去 M,小球加速度不可能大于 g,故这种情况是不可能的.

④若上面弹簧处于压缩状态而下面弹簧处于拉伸状态,则小球不可能处于静止,故这种情况也不可能的.

【答案】 B、C

例4 光滑水平面上有一边长为 l 的正方形区域处在场强为 E 的匀强电场中,电场方向与正方形一边平行,一质量为 m,带电量为 q 的小球由某一边的中点,以垂直于该边的初速度 v_0 进入该正方形区域. 当小球再次运动到该正方形区域的边缘时,具有的动能可能为(重力忽略不计)( )

A. 0 B. $\frac{1}{2}mv_0^2+\frac{1}{2}qEl$

C. $\frac{1}{2}mv_0^2$ D. $\frac{1}{2}mv_0^2+\frac{2}{3}qEl$

【巧解】 本题中小球到底从哪一边射入呢?有四种可能,须用穷举法来分析.

①如图33-3所示,若从 CD 边射入,则可能从 AD 边射出也可能从 AB 边射出,若从 AD 边射出,则答案B正确,若从 AB 边射出,则射出时的动能比从 AD 边射出要小些,但一定大于初动能;在A、B、C、D四个选项中没有这种可能性的选项.

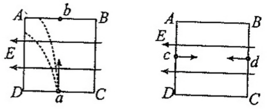


图33-3

②从 AB 边射入与从 CD 边射入是类似的;结果一样.

③若 BC 边射入,则小球一直被加速,动能增量为 qEl,答案中没有这个选项.

④若 AD 边射入,小球先减速,有可能运动到 BC 边时速度刚好为零,故A选项正确,也有可能运动到 BC 之前速度减为零,后反向加速,然后经过 AD 边,则整个过程电场力做功为0,故答案C正确;也有可能运动到 BC 边时速度还没有减到零,则动能减少量为 qEl,在A、B、C、D四个选项中没有这种可能性的选项.

【答案】 A、B、C

巧练1 如图33-4所示,PQ 为某电场中的一条电场线 A、B 为该电场线上的两点,现有一带电粒子(重力不计),以一定的初速度从 A 点运动到 B 点,则下列说法中正确的是( )



图33-4

A. 速度一定增大 B. 速度一定减小

C. 加速度一定增大 D. 加速度可能减小

巧练2 如图33-5所示,电源的电动势为 E,内阻为 r,滑动变阻器的最大阻值为 R,当滑动触头从中点向左滑动过程中,电源的输出功率将( )

A. 可能一直增大

B. 可能一直减小

C. 可能先减小后增大

D. 可能先增大后减小

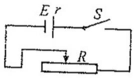


图33-5

三十四、通 式 法

所谓通式法,即利用通用公式对所求解问题进行分析、求解的一种方法. 当各种所求解的不同情况存在共同点,即存在通用公式时,用通式法解题可化繁为简.

例1 如图34-1所示,在直线 PQ 的垂线 OM 上有 A、B 两个声源(O 为两直线的交点),A、B 分别距 O 点8m和1m,两个声源同时不断向外发出波长都为2m的完全相同的声波,在直线 PQ 上从 $+\infty$ 到 $-\infty$ 范围内听不到声音的小区域共有_______个.

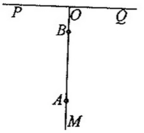


图34-1

【巧解】 在 PQ 上任取一点 D,当 D 点到两声源 A、B 的路程差与波长满足下列关系式(通式)时,则 D 点为振动减弱点:

$\Delta s=|s_{DA}-s_{DB}|=\frac{2n-1}{2}\lambda=2n-1$($n$ 为自然数)

由几何关系可得:$0<\Delta s\leq 7m$

则 n 可取1、2、3、4四个值. 再由对称性可知振动减弱点有7个. 故答案为:7

【答案】 7

例2 如图34-2所示为氢原子的能级图,用光子能量为13.07eV的光照射一群处于基态的氢原子,可能观察到氢原子发

多资料干货 关注微信公众号 学习第一线 赠送5000G学习大礼包

射的不同波长的光有多少种？

【巧解】 处于基态的氢原子吸收光子能量后将会跃迁到某一个激发态（设其量子数为 n），因激发态不稳定，将会自发地向低能级跃迁并向外发射光子. 不同的跃迁将发出不同的光子. 一群氢原子处于量子数为 n 的激发态时，可能辐射出的光谱线条数由以下通式决定：$N=\frac{n(n-1)}{2}=C_n^2$

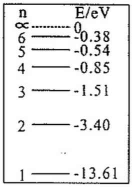


图 34－2

根据玻尔理论（$E_{光}=Q_{吸}=E_5-E_1$），处于基态的氢原子吸收光子能量后将会跃迁到 $n=5$ 的激发态；故本题答案为 $C_5^2=10$

【答案】 10

例3 如图 34－3 所示，质点从 A 到 B 做匀变速直线运动. 已知通过 A 点时的速度为 v_0，通过 B 点时的速度为 v_1，P 为 A、B 之间任意一点，设 P 到 A 点之间的距离是 A、B 之间距离的 $m/n(n>m)$，则质点通过 P 点时的速度 v_p 是多少？质点通过 A、B 的位移中点时的速度又是多少？

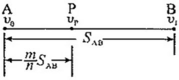


图 34－3

【巧解】 设质点的加速度为 a、A、B 相距为 S_{AB}，由运动学公式得：从 A 到 P 有：$v_p^2-v_0^2=2a\frac{m}{n}S_{AB}$；从 A 到 B 有：$v_1^2-v_0^2=2aS_{AB}$

由以上两式化简可得通过任意位置 P 的速度通式：

$$v_p=\sqrt{\frac{(n-m)v_0^2+mv_1^2}{n}}$$

若 P 为位移中点时取 $m=1$，$n=2$ 代入以上通式得：

$$v_{位中}=\sqrt{\frac{v_0^2+v_1^2}{2}}$$

【答案】 $v_p=\sqrt{\frac{(n-m)v_0^2+mv_1^2}{n}}$ $v_{位中}=\sqrt{\frac{v_0^2+v_1^2}{2}}$

例4 质点从 A 到 B 做匀变速直线运动. 已知质点通过 A 点时的速度为 v_0，通过 B 点时的速度为 v_1，p 为 A、B 之间任意一点，设从 A 到 P 所用时间是从 A 到 B 所用总时间的 $m/n(n>m)$，则质点通过 P 点时的速度 v_p 是多少？质点通过 A、B 的时间中点时的速度又是多少？

【巧解】 设质点的加速度为 a、从 A 到 B 所用总时间为 t，由运动学公式得：

从 A 到 P 有：$v_p=v_0+a\cdot(\frac{m}{n}t)$；从 A 到 B 有：$v_1=v_0+a\cdot t$

由以上两式化简可得：$v_p=\frac{(n-m)v_0+mv_1}{n}$

当 P 为 A、B 的时间中点，则取 $m=1$，$n=2$ 代入以上通式得：

$$v_{时中}=\frac{v_0+v_1}{2}$$

【答案】 $v_p=\frac{(n-m)v_0+mv_1}{n}$；$v_{时中}=\frac{v_0+v_1}{2}$

巧练1 如图 34－4 所示，在坐标原点 O 和 $x=3\text{m}$ 处的 A 点放有两个完全相同的声源，声源发声的波长均为 1m，则在 y 轴正方向上除 O 点外，声音加强的点的位置有几处？

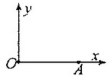


图 34－4

巧练2 一群处于量子数为 $n=6$ 的激发态的氢原子，可能向外辐射几种频率的光子？

三十五、逆向转换法

逆向转换法是指为实现某一创新或解决某一因常规思路难以解决的问题，而采取反向思维寻求将问题转换为容易解决的问题的一种思维方法.

人类的思维具有方向性，存在着正向与反向之差异，由此产生了正向思维与反向思维两种形式.

正向思维与反向思维只是相对而言的，一般认为，正向思维是指沿着人们的习惯性思考路线去思考，而反向思维则是指背逆人们的习惯路线去思维.

逆向思维又称反向思维，它是分析和解决物理问题的一种行之有效的，科学的创造性思维方式. 利用这种逆向思维解题，是把人们通常思考问题的思路反过来加以思考，执果索因. 利用逆向思维解题，常能化难为易，删繁就简，变死为活，使解题迅速而又准确. 即有利于强化逆向思维训练，防止学生思维僵化、思维定势、方法刻板，培养学生思维的灵活性、广阔性和深刻性，又有利于开拓学生思路，活化知识，提高解答物理习题的能力.

例1 做匀减速直线运动直到静止的物体（视为质点），加速度大小 $a=4\text{m/s}^2$. 求该质点最后 1s 通过的位移大小？

【巧解】 此运动可逆向转换为反向初速度为零，加速度 $a=4\text{m/s}^2$ 的匀加速度直线运动. 这样原来求质点最后 1s 通过的位移，转换为初速为零的匀加速直线运动最初 1s 物体通过的位

移大小. 即 $s=\frac{1}{2}at^2=\frac{1}{2}\times4\times1^2=2\text{m}$

【答案】 $s=2\text{m}$

例2 做匀减速直线运动直到静止的物体(视为质点),在最后三个连续相等的运动时间内,通过的位移之比是多少?

【巧解】 该运动可逆向转换为初速为零的匀加速直线运动. 原来最后三个连续相等的运动时间内通过的位移之比转换为初速为零匀加速直线运动前三个连续相等的时间内位移之比. 由运动学公式得

$$s_3=\frac{1}{2}aT^2 \quad ①$$

$$s_2=\frac{1}{2}a(2T)^2-\frac{1}{2}aT^2 \quad ②$$

$$s_1=\frac{1}{2}a(3T)^2-\frac{1}{2}a(2T)^2 \quad ③$$

由①②③方程解得 $s_3:s_2:s_1=5:3:1$

【答案】 $s_3:s_2:s_1=5:3:1$

例3 如图35-1所示,金属导轨上的导体棒 ab 在匀强磁场中沿导轨做下列哪种运动时,线圈 c 中将有图示的感应电流产生( )

A. 向右做匀速运动

B. 向左做减速运动

C. 向右做减速运动

D. 向右做加速运动

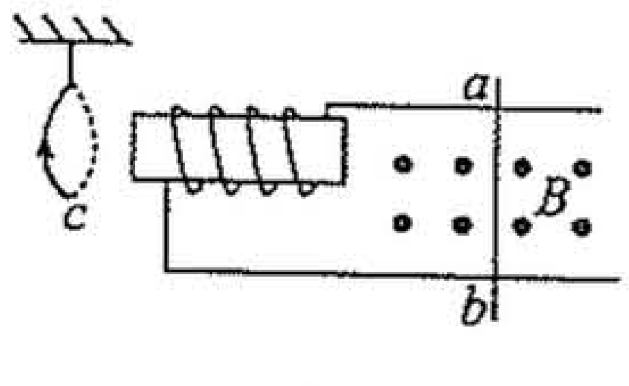


图35-1

【巧解】 电磁感应的正向思维是"导体棒运动→产生感应电流→螺线管中的电流变化→穿过线圈 c 的磁通量变化→线圈 c 中产生感应电流". 本题属于逆向思维,已知结果,求原因. 可将本题进行逆向转换,已知 A、B、C、D 四种运动情况,求线圈 c 中产生的感应电流,即转化为正向思维,则问题简单得多. 若棒 ab 匀速,则螺线管中的电流不变,穿过线圈 c 的磁通量不变,线圈 c 中将不产生感应电流;若棒 ab 向左做减速运动,则螺线管中的电流将减小,磁通量向左穿过线圈 c 且减小,则线圈 c 中产生感应电流与图示方向相同;又因 B 与 D 等效,故 B、D 选项正确. 向右做减速运动时线圈 c 中产生感应电流与图示方向相反.

【答案】 B、D

例4 如图35-2所示,在平面 xoy 上,平面镜 M 两端的坐标分别(-1,3)和(0,3),人眼位于坐标(2,0)处,当一发光点 S 从坐标原点沿 $-x$ 方向运动过程中经过以下哪个区域,人眼可以从平面镜中观察到 S 的像( )

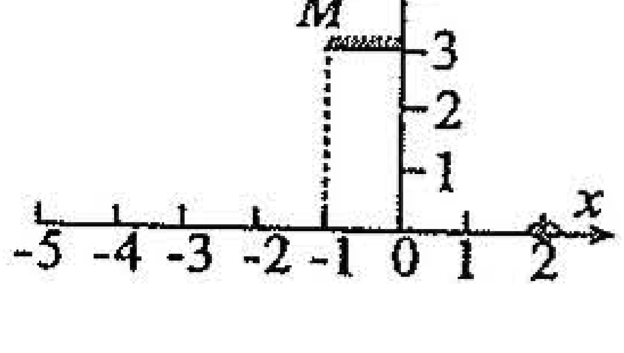


图35-2

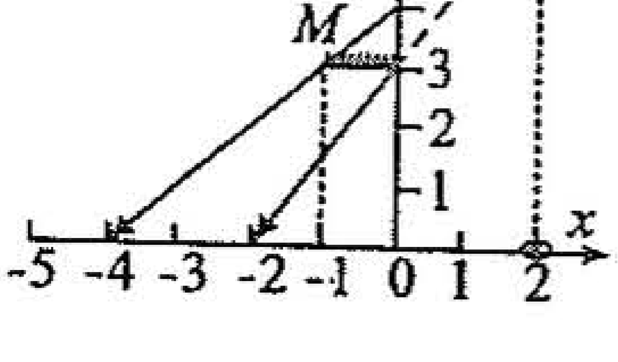


图35-3

A. 0到-1区域 B. -1到-2区域

C. 0到-∞区域 D. -2到-4区域

【巧解】 人眼看到光源的像,其实质是光源发出的光经平面镜反射后再进入人眼而使人产生视觉. 由光路可逆原理,可以将本题进行逆向转换:人眼为光源,则光源发出的光经平面镜反射后照到的区域即为本题所求答案,又因反射光相当于是从像点发出,故可做出如图35-3的光路图,由图可得答案为 D.

【答案】 D

巧练1 如图35-4所示,两条无限长的光滑平行金属导电轨道 MN、PQ 的电阻为零,相距 $L=0.4\text{m}$,水平放置在方向竖直向下的匀强磁场中,磁感应强度 $B=0.5\text{T}$. ab、cd 两金属棒长度与导轨宽度相同,电阻均为 $R=0.5\Omega$,垂直地跨放在导轨上,ab 的质量为 $m_1=0.4\text{kg}$,cd 的质量为 $m_2=0.1\text{kg}$,开始将 cd 棒锁定在轨道上,给 ab 棒向左一个瞬间冲量,使 ab 棒以初速度 $v_0=10\text{m/s}$ 开始滑行,当速度降为 $v_1=5\text{m/s}$ 时,将对 cd 棒的锁定解除. 求解除锁定后,cd 棒刚开始运动时的加速度大小是多少?

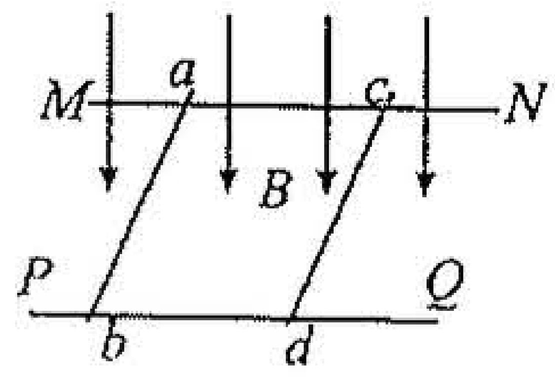


图35-4

巧练2 如图35-5所示,EF 和 MN 是长方形玻璃砖两平行侧面,将其置于空气中,一束光线射到 EF 面上,若入射角逐渐增大到靠近界面,关于能否发生全反射的判断正确的是( )

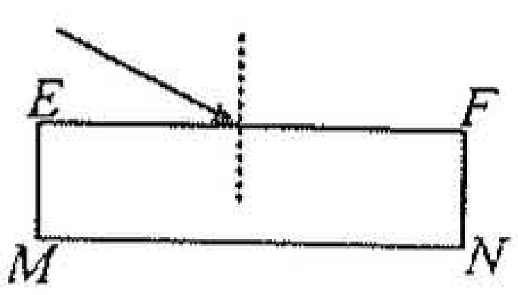


图35-5

A. 在 EF 面上不可能,在 MN 面上有可能

B. 在 EF 面上可能,在 MN 面上不可能

C. 在 EF 面上有可能,在 MN 面上也有可能

D. 在 EF 面上不可能,在 MN 面上也不可能

三十六、比例法

某些物理问题在某特定的物理情境中，有些物理量始终不变，而使得两个或两个以上的物理量有一定比例关系，用此关系建立比例等式来求解的方法叫比例法. 此法可减少一些不必要的物理量(不变的或不需求的)的计算.

说明：在利用比例关系解题时，很多问题都可根据题意先列出要求量与有关物理量的关系式，再找出不变量，从而能确定变量间的比例关系，这样可以减少对一些无关量的求解，并且这些量可在利用比例时消掉，从而简化题的计算.

例1　有一物体以某一速度冲上光滑的斜面，如图 36 - 1 所示. 物体从第一次经过 A 点到第二次经过 A 点用了 8s 的时间，物体从第一次经过 B 点到第二次经过 B 点用了 4s 的时间. A 与 B 之间的距离是 6m，求 A 点距离物体运动的最高点多远?

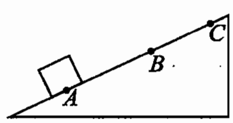


图 36 - 1

【巧解】　设最高点为 $C(v=0)$，由于斜面光滑，向上运动和向下运动受力情况不变，则运动具有对称性，所以从 A 到 C 的时间与从 C 到 A 的时间相等，为 4s，同理，B 到 C 的时间为 2s，则 $t_{AB}=t_{BC}=2s$，由 $S_{CB}:S_{BA}=1:3$，可得 $S_{CB}=2m$　故：$S_{AC}=8m$

【答案】　8m

更多资料 货 关注微信公众号 学习第一线 赠送5000G学习大礼包

【评注】　从 C 到 A 的方向是初速度为 0 的匀加速运动，在初速度为 0 的匀加速运动中，若每段时间相等，则相邻时间段内的位移之比为：$s_1:s_2:s_3:s_4:\cdots=1:3:5:7:\cdots$

例2　物体以 60J 的初动能，从 A 点出发作竖直上抛体运动，它在上升到某一高度时，动能损失了 30J，而机械能损失了 10J，则该物体在落回到 A 处的动能为：(空气阻力大小不变)(　　)

A. 50J　　B. 40J　　C. 30J　　D. 20J

【巧解】　∵ 动能损失了 30J，而机械能损失了 10J；当到达顶点时动能 60J 全损失，设机械能损失了 E

∴ 根据比例关系可立　$\frac{30}{10}=\frac{60}{E}\Rightarrow E=20J$，损失的机械能是空气阻力做功引起的，而全过程空气阻力大小又不变，则上升损失 20J，下降也应损失 20J，故回到 A 点动能为 20J.

【答案】　D

例3　如图 36 - 2 所示，理想变压器的原线圈与灯泡串联后接在交流电源上，副线圈电路并联了 3 个灯泡. 若 4 个灯泡完全相同，均正常发光，则匝数比 $n_1:n_2$ 是多少?

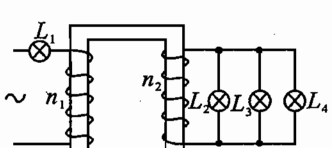


图 36 - 2

【巧解】　由于 4 个灯泡完全相同，均正常发光，故原、副线圈中电流强度之比为 1:3，因为变压器工作时，原、副线圈中电流强度跟它们的匝数成反比，所以 $n_1:n_2=I_2:I_1=3:1$

【答案】　3:1

例4　灯 L_1 和 L_2 分别标有“110V，100W”和“110V，25W”，试求：(1)两灯的电阻之比；

(2)两灯串联后接人电路时消耗的功率之比；

(3)两灯串联后接在 110V 电路上，两灯实际消耗的功率分别为多大?(设灯丝电阻不随温度变化)

【巧解】　(1)根据 $R=\frac{U^2}{P}$，由于两灯额定电压相等，则

$R_1:R_2=P_2:P_1=25:100=1:4$

(2)根据 $P=I^2R$，由于串联时电流强度相等，则

$P'_1:P'_2=R_1:R_2=1:4$

(3)两灯串联在 110V 电路上，两灯两端电压分别为 U_1、U_2，由 $U=IR$ 和串联时电流相等，则有 $U_1:U_2=R_1:R_2=1:4$，由于 $U_1+U_2=110V$，故 $U_1=22V$，$U_2=88V$. 因为 $P=\frac{U^2}{R}$，且灯丝电阻不变，故 $\frac{P_1'}{P_1}=\frac{U_1^2}{U_0^2}$，$P'_1=\frac{U_1^2}{U_0^2}P_1=\frac{22^2}{110^2}\times 100W=4W$

因为 $\frac{P'_2}{P'_1}=\frac{R_2}{R_1}$，故 $P'_2=\frac{R_2}{R_1}P'_1=16W$

【答案】　(1)1:4　(2)1:4　(3)4W，16W

例5　一个质量为 m、带电荷量为 q 的粒子从两平行金属板的正中间沿与匀强电场相垂直的方向射入，如图 36 - 3 所示. 不计重力，当粒子的入射速度为 v_0 时，它恰好能穿过这电场而不会碰到金属板. 现欲使入射速度为 $\frac{v_0}{2}$ 的此带电粒子也恰好能穿过这电场而不碰到金属板，则在其他量不变的情况下，必须(　　)

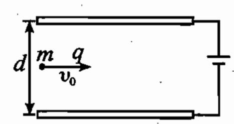


图 36 - 3

A. 使粒子的带电量减小为原来的 1/2

B. 使两板间的电压减小为原来的 1/4

C. 使两板间的距离增大为原来的 2 倍

D. 使两板间的距离增大为原来的 4 倍

【巧解】　设带电粒子穿过电场的侧位移为 s，则 $s=\frac{1}{2}at^2=\frac{1}{2}\cdot\frac{Uq}{dm}(\frac{l}{v_0})^2=\frac{Uql^2}{2dmv_0^2}$ 所以满足题意且在 s 不变时，$v_0^2\propto q$，当 v_0 变为 $\frac{v_0}{2}$ 时，q 应变为原来的 1/4，故 A 错；同理满足题意且在 s 不

变时，$v_0^2 \propto U$，当 v_0 变为 $\frac{v_0}{2}$ 时，U 应变为原来的 1/4，故 B 对；满足题意且在 s 不变时，$v_0^2 \propto \frac{1}{d}$，当 v_0 变为 $\frac{v_0}{2}$ 时，d 应变为原来的 4 倍，而 s 不变，则不可能粒子恰好飞出电场，即说明 $v_0^2 \propto \frac{1}{sd}$，$s$ 与 d 若同比增大为原来的 2 倍就能满足题意. 故 D 错，C 对.

【答案】 BC

巧练1 一个物体从 270m 高的地方由静止开始自由下落，如果把 270m 分成三段，物体经过每段所用时间相等，那么每一段各等于多少？

巧练2 如图 36－4 所示，从赤热的金属丝 K 上脱出的电子经过电场加速后进入一个圆形区域的匀强磁场中，电子刚脱出时速度为零，进入磁场时速度方向在半径方向上. 当加速电极间的电压是 1000V 时，电子穿过磁场后偏转了 90°，要使电子穿过后只发生 60°角偏转，加速电极间的电压应为多大？

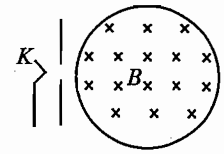


图 36－4

三十七、推理法

由一个或几个判断为前提，得出作为结论的新的判断的思维过程就是推理. 从推理的思维进程的不同方向不同的角度，推理又可分为归纳推理、演绎推理和类比推理等.

更多资料干货关注

（一）归纳推理是从个别到一般，因为个别之中包含着一般，所以通过个别来认识一般. 演绎推理是从一般到个别，因为一般存在于个别之中. 某类事物共有的属性，其中每一个别事物必然都具有，所以以一般必然能推知个别.

演绎依据的一般性原理是从特殊现象中归纳出来的，而归纳又必须以一般性原理为指导，才能找出特殊现象的本质，所以归纳离不开演绎，演绎也离不开归纳. 虽然归纳和演绎是两种不同的思维方法，但它们之间是相互渗透、相互依赖、相互补充的. 当我们解决物理问题时，根据物理概念或规律分析题目描述的物理现象，使用的是演绎法；根据题目描述的物理现象推导出某些一般性的结论，使用的是归纳法. 归纳法和演绎法的交叉应用是解决问题的常见思维方式.

例1 一弹性小球自 4.9m 高处自由落下，当它与水平地面每碰撞一次后，速度减小到碰前的 7/9，试计算小球从开始下落到停止运动所用的时间？

【巧解】 每碰一次后都做竖直上抛运动，可分为上升和落回两个阶段，这两阶段所用时间和行程相等. 设小球原来的高度为：$h_0 = 4.9\text{m}$，到桌面时的速度为 v_0

所以　$v_0 = \sqrt{2gh_0} = \sqrt{2 \times 9.8 \times 4.9} = 9.8\text{m/s}$

下落时间：$t_0 = \frac{v_0}{g}$

由题意可知（演绎法）：

小球第一次碰后的速度：$v_1 = \frac{7}{9}v_0$

小球第一次碰后的上升时间：$t_1 = \frac{v_1}{g} = (\frac{7}{9})\frac{v_0}{g}$

小球第二次碰后的速度：$v_2 = \frac{7}{9}v_1 = (\frac{7}{9})^2 v_0$

小球第二次碰后的上升时间：$t_2 = \frac{v_2}{g} = (\frac{7}{9})^2 \frac{v_0}{g}$

……

依此类推（归纳法）：小球第 n 次碰后的上升时间：$t_n = (\frac{7}{9})^n \frac{v_0}{g}$

∵ 小球每次弹起都会下落

∴ 小球从开始下落到第 n 次碰撞后静止所用的总时间为：

$T = t_0 + 2t_1 + 2t_2 + \cdots + 2t_n$

$= \frac{v_0}{g} + 2 \times \frac{v_0}{g}[\frac{7}{9} + (\frac{7}{9})^2 + \cdots + (\frac{7}{9})^n]$

$= \frac{v_0}{g} + 2 \times \frac{v_0}{g} \times \frac{7/9}{1 - 7/9}$

$= \frac{v_0}{g} + \frac{2v_0}{g} \times \frac{7}{2} = \frac{8v_0}{g} = 8s$

【答案】 8s

例2 （1995·全国）如图 37－1 所示，一排人站在沿 x 轴的水平轨道旁，原点 0 两侧的人的序号都记为 $n(n = 1,2,3\cdots)$，每人只有一个沙袋，$x > 0$ 一侧的每个沙袋质量为 $m = 14$ 千克，$x < 0$ 一侧的每个沙袋质量 $m' = 10$ 千克，一质量为 $M = 48$ 千克的

小车以某初速度从原点出发向正 x 方向滑行，不计轨道阻力，当车每经过一人身旁时，此人就把沙袋以水平速度 u 朝与车速相反的方向沿车面扔到车上，u 的大小等于扔此袋之前的瞬间车速大小的 $2n$ 倍，（n 是此人的序号数）

(1) 空车出发后，车上堆积了几个沙袋时车就反向滑行？

(2) 车上最终有大小沙袋共多少个？

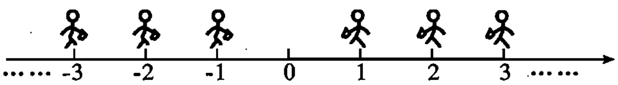


图 37－1

【巧解】 (1) 在正方向一侧：

设小车初速度为 v_0，因为每人扔袋的速度大小是扔此袋前速度大小的 $2n$ 倍，且方向，所以有：

第 1 人扔袋：$Mv_0 - m\cdot 2v_0 = (M+m)v_1$

第 2 人扔袋：$(M+m)v_1 - m\cdot 2\cdot 2v_1 = (M+2m)v_2$

第 3 人扔袋：$(M+2m)v_2 - m\cdot 2\cdot 3v_2 = (M+3m)v_3$

……

第 n 人扔袋：$[M+(n-1)m]v_{n-1} - m\cdot 2nv_{n-1} = (M+nm)v_n$

小车反向运动的条件是：$v_n<0$，即 $M+(n-1)m-2mn<0$

故 $n>2.4$，n 应为整数，即车上堆积 3 个沙袋后车就反向滑行.

(2) 只要小车仍有速度，都将有人扔沙袋到车上，因此到最后小车的速度一定为 0

在负方向一侧：令 $(v=v_3)$

第 1 人扔袋：$(M+3m)v - m'\cdot 2v = (M+3m+m')v_1$

第 2 人扔袋：$(M+3m+m')v_1 - m'\cdot 4v_1 = (M+3m+2m')v_2$

更多资料干货 关注微信公众号 学习第一线 赠送5000G学习大礼包

第 n 人扔袋（最后一次）：$[M+3m+(n'-1)m']v_{n'-1} - m'\cdot 2n'v_{n'-1} = 0$

解得：$n'=8$

故车上最终共有大小沙袋 $3+8=11$ 个.

【答案】 11 个沙袋

例 3 如图 37－2 所示，光滑的水平面上钉有两枚铁钉 A 和 B 相距 0.1m，长 1m 的柔软细绳拴在 A 上，另一端系一质量为 0.5kg 的小球，小球的初速始位置在 AB 连线上 A 的一侧，把细线拉紧，给小球以 2m/s 的垂直细线方向的水平速度使它做圆周运动. 由于钉子 B 的存在，使线慢慢地缠在 A、B 上.

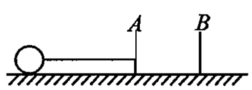


图 37－2

(1) 如果细线不会断裂，从小球开始运动到细线完全缠在 A、B 上需要多长的时间？

(2) 如果细线的抗断拉力为 7N，从小球开始运动到细线断裂需要经历多长时间？

【巧解】 小球交替地绕 A、B 做匀速圆周运动，因线速度不变，随着转动半径的减小，线中张力 T 不断增大，半周期 t 不断减小. 推算出每一个半周期的时间及半周期数，就可求出总时间，根据绳子能承受的最大拉力，可求出细绳断裂所经历的时间.

在第一个半周期内：$T_1 = m\dfrac{v^2}{L_0}$，$t_1=\dfrac{\pi L_0}{v}$

在第二个半周期内：$T_2 = m\dfrac{v^2}{L_0-L_{AB}}$，$t_2=\dfrac{\pi(L_0-L_{AB})}{v}$

在第三个半周期内：$T_3 = m\dfrac{v^2}{L_0-2L_{AB}}$，$t_3=\dfrac{\pi(L_0-2L_{AB})}{v}$……

在第 n 个半周期内：$T_n = m\dfrac{v^2}{L_0-(n-1)L_{AB}}$，

$t_n=\dfrac{\pi[L_0-(n-1)L_{AB}]}{v}$

由于 $\dfrac{L_0}{L_{AB}}=\dfrac{1}{0.1}=10$　$\therefore n\leqslant 10$

(1) 小球从开始运动到细线完全缠到 A、B 上的时间

$t=t_1+t_2+\cdots+t_{10}$

$=\dfrac{\pi}{v}\{10L_0-[1+2+3+\cdots+(10-1)]L_{AB}\}$

$=\dfrac{\pi}{v}[10L_0-\dfrac{10\times(10-1)}{2}\times 0.1]\approx 8.6s$

(2) 由于第 x 个半周期时，$T_x=7N$

由 $T_x=m\dfrac{v^2}{L_0-(x-1)L_{AB}}$ 代入数据后得 $x=8$，则所经历的时间 $t=\dfrac{\pi}{v}[8L_0-\dfrac{8\times(8-1)}{2}L_{AB}]=\dfrac{\pi}{2}[8\times 1-\dfrac{8\times(8-1)}{2}\times 0.1]\approx 8.2s$

【答案】 8.6s　8.2s

例 4 (2004·江苏) 一个质量为 M 的雪橇静止在水平雪地上，一条质量为 m 的爱斯基摩狗站在该雪橇上. 狗向雪橇的正后方跳下，随后又追赶并向前跳上雪橇；其后狗又反复地跳下、追赶并跳上雪橇. 狗与雪橇始终沿一条直线运动，若狗跳离雪橇时雪橇的速度为 v，则此时狗相对于地面的速度为 $v+u$（其中 u 为狗相对于雪橇的速度，$v+u$ 为代数和，若以雪橇运动的方向为正方向，则 v 为正值，u 为负值）. 设狗总以速度 v 追赶和跳上雪橇，雪橇与雪地间的摩擦忽略不计. 已知 v 的大小为 5m/s，u 的大小为 4m/s，$M=30$kg，$m=10$kg.

(1) 求狗第一次跳上雪橇后两者的共同速度的大小；

(2) 求雪橇最终速度的大小和狗最多能跳上雪橇的次数？

【巧解】 (1) 设雪橇运动的方向为正方向，狗第 1 次跳下雪橇后雪橇的速度为 v_1，根据动量守恒定律，有：$Mv_1+m(v_1+u)=0$

狗第 1 次跳上雪橇时，雪橇与狗的共同速度为 v'_1 满足：

$Mv_1+mv=(m+M)v'_1$

可解得　$v'_1=\dfrac{-Mmu+(M+m)mv}{(m+M)^2}$

将 $u=-4$m/s，$v=5$m/s，$M=30$kg，$m=10$kg 代入，得：$v'_1=2m/s$

(2) 设雪橇运动的方向为正方向，狗第 i 次跳下雪橇后，雪橇的速度为 v_i，狗的速度为 v_i+u；狗第 i 次跳上雪橇后，雪橇和狗的共同速度为 v_i'，根据动量守恒定律，可得：

第一次跳下雪橇：$Mv_1+m(v_1+u)=0\Rightarrow v_1=-\dfrac{mu}{m+M}=1m/s$

第一次跳上雪橇：$Mv_1+mv=(m+M)v'_1$

第二次跳下雪橇：$Mv_2+m(v_2+u)=(m+M)v'_1$

第二次跳上雪橇：$Mv_2+mv=(m+M)v'_2$

第三次跳下雪橇：$Mv_3+m(v_3+u)=(m+M)v'_2$

第三次跳上雪橇：$Mv_3+mv=(m+M)v'_3$

……

第$(n-1)$次跳上雪橇：$Mv_{n-1}+mv=(m+M)v'_{n-1}$

第 n 次跳下雪橇：$Mv_n+m(v_n+u)=(m+M)v'_{n-1}$

由以上各式可解得：$v_n=(v-u)\left[1-\left(\frac{M}{m+M}\right)^{n-1}\right]-\frac{mu}{m+M}\left(\frac{M}{m+M}\right)^{n-1}$

狗追不上雪橇的条件是：$v_n\geqslant v$

可化为：$\left(\frac{M}{m+M}\right)^{n-1}\leqslant\frac{(m+M)u}{Mu-(m+M)v}\Rightarrow n\geqslant 1+\frac{lg\left[\frac{Mu-(m+M)v}{(m+M)v}\right]}{lg\left(\frac{m+M}{M}\right)}$

代入数据，得 $n\geqslant3.41$，所以狗最多能跳上雪橇 3 次，则雪橇最终速度大小为 $v_4=5.625\text{m/s}$

【答案】 $v'_1=2\text{m/s}$；3 次，$v_4=5.625\text{m/s}$

巧练 1　A、B 两点相距为 s，将 s 作 n 等分. 质点从 A 点以初速度 v_0，向 B 做加速度为 a 的匀加速度直线运动. 每过一等分位移，加速度就增加$\frac{a}{n}$，求质点到达 B 点时的速度.

更多资料干货 关注微信公众号 学习第一线 赠送5000G学习大礼包

巧练 2　如图 37－3，$M=2\text{kg}$ 的平板小车后端放有质量 $m=3\text{kg}$ 的小铁块，它和车之间的动摩擦因素 $\mu=0.5$，开始时，车和铁块共同以 $v_0=3\text{m/s}$ 的速度向右在光滑水平面上运动，并使车与竖直墙壁发生正碰（不计碰撞时机械能损失），碰撞时间极短，车身足够长，使得铁块总不能和墙壁相碰，（g 取 10m/s^2）求小车和墙壁第一次相碰后小车所走的总路程.

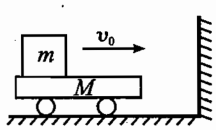


图 37－3

（二）　类比推理是根据两个研究对象在某些属性或特征的相似或相同，从而判断出这两个研究对象在其他属性或特征上也可能相类似的研究方法.

例 5　（春季高考题）一质量为 $4.0\times10^{-15}\text{kg}$，电量为 $2.0\times10^{-9}C$ 的带正电质点，以 $4.0\times10^4\text{m/s}$ 的速度垂直于电场方向从 a 点进入匀强电场区域，并从 b 点离开电场区域，离开电场区域时的速度为 $5.0\times10^4\text{m/s}$，由此可知，电场中 a、b 两点间的电势差为 $U_a-U_b=$________V；带电质点离开电场时速度在电场方向的分量为________m/s（不考虑重力作用）.

【巧解】　因不考虑重力作用，且垂直于电场方向进入匀强电场，所以可作为类平抛运动，则有：

$qU_{ab}=\frac{1}{2}mv_b^2-\frac{1}{2}mv_a^2$　于是

$U_{ab}=\frac{m}{2q}(v_b^2-v_a^2)$

$=\frac{4\times10^{-15}}{2\times2\times10^{-9}}[(5\times10^4)^2-(4\times10^4)^2]$

$=9\times10^2\text{V}$

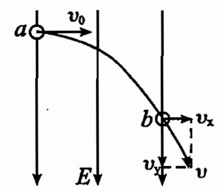


图 37－4

其速度如图 37－4 所示，用勾股定理有：

$v_y=\sqrt{v_b^2-v_x^2}=\sqrt{(5\times10^4)^2-(4\times10^4)^2}=3\times10^4\text{m/s}$

【答案】　$9\times10^2\text{V}$，$3\times10^4\text{m/s}$

例 6　如图 37－5（a）所示，水平向右的匀强电场的场强为 E，用一根长 L 的绝缘细线系一只质量为 m，电荷量为 $+q$ 的小球，小球从图示与悬挂点 O 等高处（细线被拉直）由静止释放. 试讨论，在（1）$mg=Eq$；（2）$mg=\sqrt{3}Eq$；（3）$\sqrt{3}mg=Eq$ 三种情况下，小球在运动过程中速度最大的位置在哪里以及最大速度多大？

【巧解】　在单摆运动中，只有重力作功时，小球在平衡位置有最大速度，即摆线与重力作用线重合时，小球的位置，由机械能守恒有：

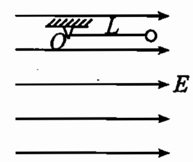


图 37－5（a）

$mgL=\frac{1}{2}mv^2\Rightarrow v=\sqrt{2gL}$

本题有电场力与重力作功，由于电场力与重力性质相同，因此可以把重力与电场力的合力看作视重 mg'，如图 37－5（b）所示，有：$mg'=\sqrt{(mg)^2+(Eq)^2}$　①，现令 mg' 与电场力的方向（即水平方向）夹角为 θ，则由机械能守恒有：$mg'L(1-\cos\theta)=\frac{1}{2}mv^2\Rightarrow v=\sqrt{2g'L(1-\cos\theta)}$

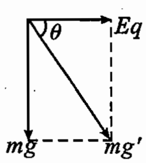


图 37－5（b）

（1）当 $mg=Eq$ 时，有 $\theta=45°$，即摆线与水平方向成 45°夹角时小球速度最大，由①式可得：$g'=\sqrt{2}g$

把数据代入②式可得：$v_1=\sqrt{2\sqrt{2}gL\left(1-\frac{\sqrt{2}}{2}\right)}=\sqrt{(2\sqrt{2}-2)gL}$

（2）当 $mg=\sqrt{3}Eq$ 时，有 $\tan\alpha=\frac{mg}{Eq}=\sqrt{3}\Rightarrow\alpha=60°$，即摆线与水平方向成 60°夹角时小球速度最大，由①式可得：$g'=\frac{2\sqrt{3}}{3}g$，把数据代入②式可得：$v_2=\sqrt{\frac{4\sqrt{3}}{3}gL\left(1-\frac{1}{2}\right)}=\sqrt{\frac{2\sqrt{3}}{3}gL}$

（3）当 $\sqrt{3}mg=Eq$ 时，有 $\tan\beta=\frac{mg}{Eq}=\frac{\sqrt{3}}{3}\Rightarrow\alpha=30°$，即摆线与水平方向成 30°夹角时小球速度最大，由①式可得：$g'=2g$

把数据代入②式可得：$v_3=\sqrt{4gL(1-\frac{\sqrt{3}}{2})}=(\sqrt{3}-1)\sqrt{gL}$

例7　如图37－6所示，在竖直平面内，有一半径为 R 的绝缘的光滑圆环，圆环处于大小为 E、方向水平向右的匀强电场中. 圆环上的 A、C 两点与圆心 O 处于同一水平面上，B、D 分别是环上最高点和最低点；M 为环上的一点，$\angle MOA=45°$. 环上穿着一个带电量为 $+q$ 的小球，它在环上作圆周运动. 小球经过 M 点时对环之间的作用力为零. 求小球经过 A、B、C、D 点时的动能各多大？

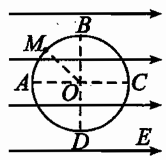


图 37－6

【巧解】　小球在竖直平面内作圆周运动，在只有重力作功时，小球对轨道作用力最小的位置是最高点，即重力作用线与圆轨道的上交点. 本题有电场力与重力作用，由于电场力与重力性质相同，因此可以把重力与电场力的合力看作视重 mg'，则小球在只有视重作功的情况下作圆周运动，因为小球在 M 点时对环之间的作用力为零，所以视重作用线必过 M、O 两点，又因为 $\angle MOA=45°$，则有 $mg=Eq$，即 $mg'=\sqrt{2}Eq$. 位置 A、B 与 C、D 分别在视重力场相等的高度，由能量守恒有：

$$E_{kA}=E_{kB}=mg'R(1-\cos45°)=\sqrt{2}EqR(1-\frac{\sqrt{2}}{2})=(\sqrt{2}-1)EqR,$$

$$E_{kC}=E_{kD}=mg'R(1+\cos45°)=\sqrt{2}EqR(1+\frac{\sqrt{2}}{2})=(\sqrt{2}+1)EqR$$

【答案】　$E_{kA}=E_{kB}=(\sqrt{2}-1)EqR$，$E_{kC}=E_{kD}=(\sqrt{2}+1)EqR$

巧练3　如图37－7所示，一个摆长为 L 的单摆，摆球带电，悬吊于水平方向的匀强电场中，摆球静止时悬线于竖直方向的夹角为 θ，求单摆做简谐震动的周期？

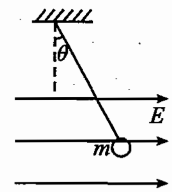


图 37－7

巧练4　如图37－8所示半径为 r 的绝缘光滑圆环固定在竖直平面内，环上套有一质量为 m 的带正电的珠子，空间存在有水平向右的匀强电场，珠子所受电场力是其重力的3/4倍，将珠子从环上最低位置 A 点静止释放，则珠子所能获得的最大动能 E 为多少？

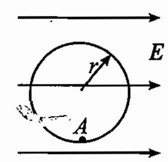


图 37－8

更多资料干货 关注微信公众号 学习第一线 赠送5000G学习大礼包

三十八、密度比值法

在有关理想气体的问题中，气体的压强、温度、体积等都与气体密度有关，由理想气体密度方程（$\frac{P}{\rho T}=$常量）来寻找不同状态下各气态参量与密度比值的关系，以次求解气态变化过程或气态参量的大小的方法叫密度法.

说明：由理想气体的状态方程：$\frac{PV}{T}=\frac{m}{M}R\Rightarrow\frac{P}{\rho T}=\frac{R}{M}$，因 R 是普适气体恒量，M 是气体的摩尔质量，则 $\frac{R}{M}$ 是常量. 由此关系不仅可解定质量问题，还可以解变质量问题.

例1　如图38－1所示，一抽气机的最大容积是被抽气体容器容积的百分之一. 当上提活塞将阀门 a 打开，阀门 b 关闭；当活塞向下运动时，阀门 b 打开，阀门 a 关闭. 设容器中原来压强为76cmHg，问抽3次后容器中气体压强为多少？

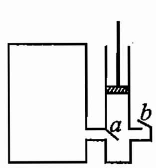


图 38－1

【巧解】　根据题意可知，每次抽气后容器中剩余的气体质量是抽前的100/101，即密度是抽前的100/101，则抽3次后 $\rho_3=\rho_0(\frac{100}{101})^3$，由气体的密度方程可得：

$$\frac{P_0}{\rho_0}=\frac{P_3}{\rho_3}\Rightarrow P_3=\frac{\rho_3}{\rho_0}P_0=(\frac{100}{101})^3\times76=73.76\text{cmHg}$$

答案　73.76cmHg

例2　（全国高考题）一定质量的理想气体由状态 A 经过如图38－2所示过程变到状态 B，在此过程中气体的密度（　　）

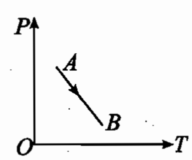


图 38－2

A. 一直变小　　B. 一直变大

C. 先变小后变大　　D. 先变大后变小

【巧解】　由气体的密度方程：$\frac{P_0}{\rho_0T_0}=\frac{P}{\rho T}\Rightarrow\frac{\rho}{\rho_0}=\frac{P}{P_0}\cdot\frac{T_0}{T}$

又因在变化过程中 $P<P_0\Rightarrow\frac{P}{P_0}<1$，$T>T_0\Rightarrow\frac{T_0}{T}<1$

所以$\frac{\rho}{\rho_0}<1$则气体的密度一直变小.

【答案】 A

例3 一体积为5L的绝缘容器上的气压表显示其气压为标准大气压,温度计显示为27℃,现用一只打气筒向该容器打气,经过若干次打气后,容器上的气压表显示为1.46个标准大气压,温度计显示27.5℃.已知每打一次气容器中将增加质量1g,求共打了多少次气?(已知标准大气压时,空气的密度$\rho_0=1.29kg/m^3$)

【巧解】 因容器的体积不变,但在打气过程中气体的密度在变,则根据气体的密度方程有:

$\frac{P_0}{\rho_0 T_0}=\frac{P}{\rho T}\Rightarrow\rho=\frac{T_0 P}{TP_0}\rho_0$ 又$\rho_0=1.29kg/m^3=1.29g/L$,则

$\triangle m=(\rho-\rho_0)V=(\frac{T_0P}{TP_0}-1)\rho_0 V$

$=(\frac{300\times1.46P_0}{300.5\times P_0}-1)\times1.29\times5=2.95g$

∵每打一次气容器中质量增加1g

∴共需打气3次.

【答案】 3次

巧练1 如图38-3所示,将一装有压缩空气的金属瓶的瓶塞突然打开,使压缩空气迅速跑出,当瓶内气体压强降至等于大气压p_0时,立即盖紧瓶塞,过一段时间后,瓶内压强将( )(设瓶外环境温度不变)

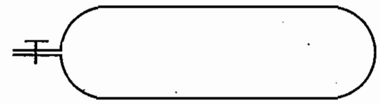


图38-3

A. 仍为p_0　　B. 大于p_0
C. 小于p_0　　D. 无法确定

巧练2 一定质量的气体经历如图38-4所示的一系列过程,ab、bc、cd和da这四段过程在P-T图上都是直线段,其中ab的延长线通过原点O,bc垂直于ab,而cd平行于ab,由图可判断( )

A. ab过程中气体密度不断减小;
B. bc过程中气体密度不断增大;
C. cd过程中气体密度不断减小;
D. da过程中气体密度不断增大.

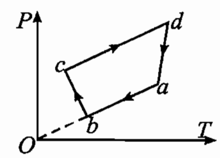


图38-4

三十九、程序法

更多资料干货 关注微信公众号 学习第一线 赠送5000G学习大礼包

按时间或空间顺序对题目给出的物体运动过程(或不同状态)进行分段分析的方法叫程序法.此法要求我们从读题开始,就要注意题中含有多少个不同的过程或多少个不同的状态,然后对各个过程或各个状态进行分析.

说明:程序法是我们学好物理必须具备的一项重要基本功.在读题或分析时一定要注意题目是否描述有(或隐含有)两个或两个以上的不同过程或不同状态,在以后的学习中还要注意养成这种习惯.在力学中,选择研究对象及正确选择某个状态(或某个运动过程)进行分析是迅速解题之关键.

例1 物体放在一倾角为θ的斜面上,向下轻轻一推刚好能匀速下滑,若给此物体一个沿斜面向上的初速度v_0,则能上滑的路程是________.

【巧解】 题描述了两个过程:(1)匀速下滑过程,由平衡条件可得:

$f_{摩}=mg\sin\theta$　①

(2)上滑过程,根据受力,由牛顿第二定律可得:

$f_{摩}+mg\sin\theta=ma$　②

由运动学公式得:$s=\frac{v_0^2}{2a}$　③

由①②③得:$s=\frac{v_0{}^2}{4g\sin\theta}$

【答案】 $s=\frac{v_0^2}{4g\sin\theta}$

例2 如图39-1所示,质量分别为m_A、m_B的两个物体A和B,用弹簧连在一起放在粗糙的水平面上,在水平拉力F的作用下,两物体做匀速运动,求撤去外力F的时刻,A、B两物体的加速度分别是多少?

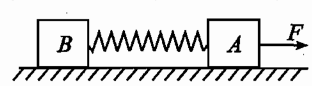


图39-1

【巧解】 本题分两个阶段

第一阶段:匀速运动.设A、B物体受的摩擦力分别为f_A、f_B、把A、B看作一个整体,则有:$F=f_A+f_B$

把B物体隔离出来有:$f_{弹}=f_B$

第二阶段:撤去外力的瞬间,由于惯性,A、B都将向右运动,且A、B物体均受摩擦.因时间太短,则弹簧来不及恢复原长,且与撤去F之前的形变量相等,即弹簧弹力不变,所以A、B两物体仍受到向左的摩擦.则以A物体为研究对象有:

$F_A=f_{弹}+f_A\Rightarrow a_A=\frac{F}{m_A}$.

以B物体为研究对象,B物体受力仍然平衡,则$a_B=0$

例3 如图39-2所示,自由下落的小球下落一段时间后,与弹簧接触.从它接触弹簧开始,到弹簧压缩到最短的过程中,以下判断正确的有( )

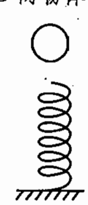


图39-2

A. 小球的速度先增大后减小，方向不变；

B. 小球的速度始终减小，且方向由向下变为向上；

C. 小球的加速度的方向先向下后向上，大小先变小后变大；

D. 小球的加速度的方向始终向上，大小始终变小.

【巧解】 小球接触弹簧上端后受到两个力的作用：向下的重力和向上的弹力. 全过程分为两个阶段：

在接触后的前一阶段，重力大于弹力，合力方向向下. 因弹力 $F=kx$，形变量 x 增大，则 F 不断增大，所以合外力不断减小，故加速度不断减小，由于加速度与速度同向，因此速度不断增大.

当弹力增大到与重力大小相等时，合外力为零，加速度为零，速度达到最大.

后一阶段，即小球达到上述位置之后，由于惯性小球仍继续向下运动，但弹力开始大于重力，合外力竖直向上，且逐渐变大，因而加速度逐渐变大，方向竖直向上.

【答案】 AC

例4 （全国高考题）在原子核物理中，研究核子与核关联的最有效途径是"双电荷交换反应". 这类反应的前半部分过程和下述力学模型类似. 两个小球 A 和 B 用轻质弹簧相连，在光滑的水平直轨道上处于静止状态. 在它们左边有一垂直于轨道的固定档板 P，右边有一小球 C 沿轨道以速度 v_0 射向 B 球，如图 39－3 所示. C 与 B 发生碰撞并立即结成一个整体 D. 在它们继续向左运动的过程中，当弹簧长度变到最短时，长度突然被锁定，不再改变. 然后，A 球与挡板 P 发生碰撞，碰后 A、D 都静止不动，A 与 P 接触而不粘连. 过一段时间，突然解除锁定（锁定及解除锁定均无机械能损失）. 已知 A、B、C 三球的质量均为 m.

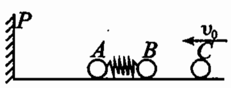


图 39－3

(1) 求弹簧长度刚被锁定后 A 球的速度. (2) 求在 A 球离开挡板 P 之后的运动过程中，弹簧的最大弹性势能.

【巧解】 本题目有很多个阶段，解题时只需要按情景发展过程，去寻找每个阶段等量关系就行了.

(1) 设 C 球与 B 球粘结成 D 时，D 的速度为 v_1，由动量守恒有 $mv_0=(m+m)v_1$　①

当弹簧压至最短时，D 与 A 的速度相等，设此速度为 v_2，由动量守恒，有

$2mv_1=3mv_2$　②

由①、②两式得 A 的速度：$v_2=\frac{1}{3}v_0$

(2) 设弹簧长度被锁定后，贮存在弹簧中的势能为 E_P，由能量守恒，有

$\frac{1}{2}\cdot 2mv_1^2=\frac{1}{2}\cdot 3mv_2^2+E_P$

撞击 P 后，A 与 D 的动能都为零，解除锁定后，当弹簧刚恢复到自然长度时，势能全部转变成 D 的动能，设 D 的速度为 v_3，则有　$E_P=\frac{1}{2}(2m)v_3^2$

当弹簧伸长，A 球离开挡板 P，并获得速度. 当 A、D 的速度相等时，弹簧伸至最长. 设此时的速度为 v_4，由动量守恒，有 $2mv_3=3mv_4$，当弹簧伸到最长时，其势能最大，设此势能为 E_P'，由能量守恒，有 $\frac{1}{2}\cdot 2mv_3^2=\frac{1}{2}\cdot 3mv_4^2+Ep'$

解以上各式得：$E_P'=\frac{1}{36}mv_0^2$

巧练1 如图 39－4 所示，弹簧左端固定，右端自由伸长到 O 点并系住物体 m，现将弹簧压缩到 A 点，然后释放，物体可以一直运动到 B 点，如果物体受到的阻力恒定，则（　　）

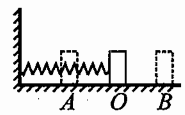


图 39－4

A. 物体从 A 到 O 先加速后减速

B. 物体从 A 到 O 加速运动，从 O 到 B 减速运动

C. 物体运动到 O 点时所受合力为零

D. 物体从 A 到 O 的过程加速度逐渐减小

巧练2 如图 39－5 所示，在倾角 $\theta=37°$ 的足够长的固定的斜面上，有一质量 $m=1$kg 的物体，物体与斜面间动摩擦因数 $\mu=0.2$，物体受到沿平行于斜面向上的轻细线的拉力 $F=9.6$N 的作用，从静止开始运动，经 2s 绳子突然断了，求绳断后多长时间物体速度大小达到 22m/s（$\sin37°=0.6$，$g=10\text{m/s}^2$）.

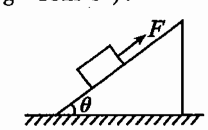


图 39－5

四十、等分法

用平行线（或平行面）把面（或空间）等分成很多部分，后根据某些物理量在垂直于平行线（或平行面）方向的不变性来确定与此相关的其他物理量的解题方法叫做等分法.

说明：此方法主要用在分析匀强电场中，利用电场线与等势面垂直的性质来判断电场的方向、电势高低以及求解电势差、电场力做功等物理量.

例1 （全国高考题）图 40－1 中 A、B、C、D 是匀强电场中一正方形的四个顶点，已知 A、B、C 三点的电势分别为 $U_A=15$V，$U_B=3$V，$U_C=-3$V，由此可得 D 点电势 $U_D=$________V.

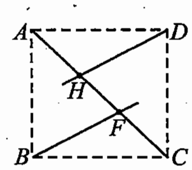


图 40－1

【巧解】 由 $U_A=15$V，$U_B=3$V，$U_C=-3$V，可知 $U_{AC}=3U_{BC}$，所以 AC 的三等分点 F 处的电势应与 B 点处电势相等，根据匀强

电场的性质 B、F 点连线应是等势线. 由几何关系可知 $BF // DH$，匀强电场中等势线相互平行，说明 DH 也是等势线，即 D、H 电势相等. 又因为 H 是 AC 的三等分点，所以 $U_D = U_H = U_A - U_{AH} = U_A - \frac{U_{AC}}{3} = 15 - \frac{18}{3} = 9V$

【答案】 9V

例2 如图 40－2 所示，虚线方框内为一匀强电场，A、B、C 为该电场中三点. 已知 $U_A = 12V$，$U_B = 6V$，$U_C = -6V$，试在该方框内作出该电场示意图（即画出几条电场线），保留作图所用辅助线（用虚线表示）.

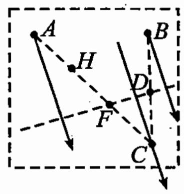


图 40－2

【巧解】 因 $U_B = 6V$，$U_C = -6V$，根据匀强电场的特点，在 BC 连线的中点处 D 的电势必为零，则每段的电势差为 6V；又因 AC 间的电势差为 18V，则应把 AC 连线三等分，$AH = HF = FC$，可确定 F 点的电势也为零. 连结 DF 构成等势线（如图）. 根据电场线与等势线垂直，从高电势指向低电势，可作出图示的电场线（带箭头的实线）.

例3 一带电量为 $q = 4 \times 10^{-10}$C 的点电荷从匀强电场的 A 点移到 B 点，电场力做功 $W_1 = 6.4 \times 10^{-9}$J，把该点电荷从 B 点移到 C 点，电场力做功 $W_2 = -4.8 \times 10^{-9}$J，若 B 点电势 $U_B = -4V$，求 A、C 两点电势各为多少？并用图示标出匀强电场的方向.

【巧解】 根据电场力做功 $W = Uq$ 可得 $W_1 = U_{AB}q$，代入数据有 $U_{AB} = 16V = U_A - U_B \Rightarrow U_A = 12V$；同理可得 $W_2 = U_{BC}q$，代入数据有 $U_{BC} = -12V = U_B - UC \Rightarrow U_C = 8V$，因 $U_{AB} = 16V$，$U_{CB} = -U_{BC} = 12V$，它们有公因数 4，所以可将 AB 等分成 4 等份，CB 等分成 3 等份，如图 40－3. 其中 $U_H = U_L$，则 H、L 连线必为等势线，由电场线垂直于等势线，那么匀强电场的方向如图 40－3 所示（带箭头的实线）.

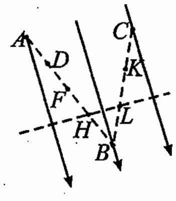


图 40－3

巧练1 如图 40－4 所示，虚线方框内为一匀强电场，A、B、C 为该电场中三点. 已知 $U_A = 14V$，$U_B = 9V$，$U_C = -6V$，试在该方框内作出该电场示意图（即画出几条电场线），保留作图所用辅助线（用虚线表示）.

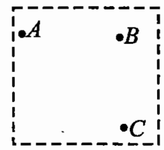


图 40－4

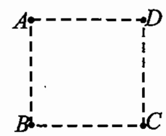


图 40－5

巧练2 图 40－5 中 A、B、C、D 是匀强电场中一正方形的四个顶点，一带电量为 $q = 3 \times 10^{-10}$C 的点电荷从匀强电场的 A 点移到 B 点，电场力做功 $W_1 = 1.5 \times 10^{-9}$J，把该点电荷从 A 点移到 C 点，电场力做功 $W_2 = 6 \times 10^{-9}$J，若 B 点电势 $U_B = 0V$，由此可得 D 点电势 $U_D =$ ________ V.

更多资料干货 关注微信公众号 学习第一线 赠送5000G学习大礼包

四十一、动态圆法

带电粒子在磁场（或有磁场的混合场）中做圆周运动，由于其他粒子相碰或者穿过物体而使得其运动的圆周轨迹的半径、圆心等发生变化，根据此变化来分析求解需要的物理量的方法叫做动态圆法.

例1 如图 41－1 所示，A 是一块水平放置的铅板的截面，其厚度为 d. MM' 和 NN' 是一重力作用可忽略不计，质量为 m，带电量为 q 的粒子在匀强磁场中的运动轨迹. 匀强磁场的磁感应强度为 B，方向垂直纸面向里. 粒子的运动轨迹与磁场方向垂直，并且粒子垂直穿过铅板. 轨迹 MM' 的半径为 r，轨迹 NN' 的半径为 R，且 $R > r$. 求：(1) 粒子穿过铅板时的运动方向.（回答向上或向下）

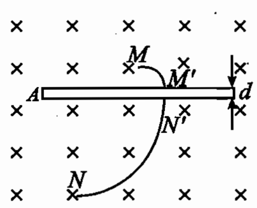


图 41－1

(2) 粒子带何种电荷.

(3) 粒子穿过铅板时所受的平均阻力.

【巧解】 在磁场中粒子的运动轨迹发生弯曲，说明粒子带电. 粒子穿过铅板速度将减小，由 $R = \frac{mv}{qB}$ 可知 R 将减小，即粒子向上运动；由左手定则联系向心力总指向圆心易确定粒子带正电；由穿过铅板前后的半径大小可得损失的能量：

$$\Delta E = E_{k前} - E_{k后} = \frac{1}{2}m[(\frac{BqR}{m})^2 - (\frac{Bqr}{m})^2]$$

设平均阻力为 $\bar{f}$，由动能定理得 $\bar{f}d = \Delta E_k$

由以上两式可得 $\bar{f} = \frac{B^2q^2}{2md}(R^2 - r^2)$

【答案】 (1) 向上；(2) 带正电；(3) $\bar{f} = \frac{B^2q^2}{2md}(R^2 - r^2)$

例2 如图 41－2 所示，区域Ⅰ和区域Ⅱ的匀强磁场磁感强度大小相等，方向相反. 在区域Ⅱ的 A 处有一静止的原子核发生 α 衰变，生成的新核电量为 q（大于 α 粒子带电量），新核和 α 粒子的运动轨迹如图，其中一个由区域Ⅱ进入区域Ⅰ，与光滑绝缘挡板 PN 垂直相碰后（PN 与磁场分界线 CD 平行），经过一段时间又能返回到 A 处，已知区域Ⅰ的宽度为 d，试求新核和 α 粒

子的轨道半径.（基本电荷电量为 e）

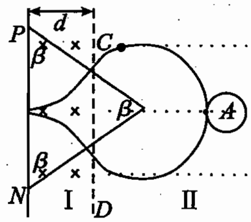


图 41－2

【巧解】　衰变过程动量守恒

$m_\alpha v_\alpha - mv = 0$　①

又∵ $R = \frac{mv}{qB}$　②

由生成的新核电量 q 大于 α 粒子带电量结合①②两式可知左边为 α 粒子轨迹，又因为区域Ⅰ和区域Ⅱ的匀强磁场磁感强度大小相等，说明在两区域 α 粒子运动半径相等. 虽然 α 粒子运动轨迹的圆心在变，但两区域交界处的切线相同，故可作出图示的三角形，其中 $\beta = 60°$，则 α 粒子的轨道半径为　$R_\alpha = \frac{d}{\sin\beta} = \frac{2\sqrt{3}d}{3}$　③

又 $R_\alpha = \frac{m_\alpha v_\alpha}{2eB}$　④

由①③④式可得 $mv = \frac{4\sqrt{3}Bde}{3}$

∴ 新核运动的轨道半径为　$R = \frac{mv}{qB} = \frac{4\sqrt{3}ed}{3q}$

【答案】　$R = \frac{4\sqrt{3}ed}{3q}$，$R_\alpha = \frac{m_\alpha v_\alpha}{2eB}$

例 3　如图 41－3 所示，直线 MN 上方有匀强磁场，磁感应强度为 B，方向垂直纸面向里；下方有方向向下的匀强电场，场强为 E，一电子（电量 e，质量为 m）自 A 点由静止释放，A 点到 MN 的距离为 d. 不计重力，电子运动后速度第三次为零的点为 C，求：

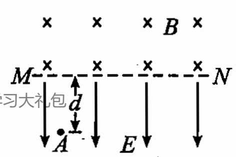


图 41－3

（1）A、C 两点间的距离 s；

赠送5000G学习大礼包

（2）电子从 A 运动到 C 所用的时间 t.

【巧解】　（1）电子在电场中的加速度为 $a = \frac{eE}{m}$，

电子进入磁场的速度为 $v = \sqrt{2ad} = \sqrt{\frac{2eEd}{m}}$

粒子进入磁场后做匀速圆周运动，运动半周后，又进入电场做匀减速直线运动，经位移 d 速度为零，然后重复前面的运动过程，其在磁场中运动的圆心在向前运动. 可见 A、C 间距离等于在磁场中做圆运动直径的 n 倍.

$$s = n \cdot 2r = \frac{2nmv}{eB} = \frac{2n}{B}\sqrt{\frac{2mEd}{e}}$$

因 $n = 3$ 次，所以 $s = \frac{6}{B}\sqrt{\frac{2mEd}{e}}$

（2）电子从 A 到进入磁场的时间　$t_1 = \sqrt{\frac{2d}{a}} = \sqrt{\frac{2md}{eE}}$ 且电子从磁场进入电场至到速度为零，所需时间也为 t_1，在磁场中运行半周时间：$t_2 = \frac{T}{2} = \frac{\pi m}{eB}$

$$t = 3 \cdot 2t_1 + 3t_2 = 6\sqrt{\frac{2dm}{eE}} + \frac{3\pi m}{eB}$$

【答案】　（1）$s = \frac{6}{B}\sqrt{\frac{2mEd}{e}}$，（2）$t = 6\sqrt{\frac{2dm}{eE}} + \frac{3\pi m}{eB}$

巧练 1　图 41－4 为云室中某粒子穿过铅板 P 前后的轨迹. 室中匀强磁场的方向与轨迹所在平面垂直（图中垂直于纸面向里），由此可知此粒子（　　）

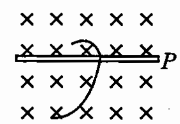


图 41－4

A. 一定带负电

B. 可能带负电也可能带正电

C. 可能是从上而下穿过该铅板

D. 一定是从下而上穿过该铅板

巧练 2　如图 41－5 所示，在某空间同时存在着互相正交的匀强电场和匀强磁场，电场的方向竖直向下. 一带电体 a 带负电，电量为 q_1，恰能静止于此空间的 c 点，另一带电体 b 也带负电，电量为 q_2，正在一过 a 点的竖直平面内作半径为 r 的匀速圆周运动，结果 a、b 在 c 处碰撞并粘合在一起，①试分析 a、b 粘合一起后的运动性质. ②a、b 一起运动的轨道.

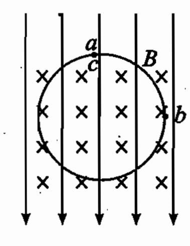


图 41－5

四十二、放缩法

在很难判断某两个状态的物理量的大小关系时，借助一个或多个中间状态量通过适当的放大或缩小达到判断这两个状态的物理量的大小关系的方法叫放缩法. 放缩法解题的理论依据主要有：（1）利用不等式的传递性；（2）等量加不等量为不等量；（3）同分子（分母）异分母（分子）的两个分式大小的比较. 常用的放缩技巧有：①舍掉（或加进）一些项；②在分式中放大或缩小分子或分母；③应用均值不等式进行放缩

例 1　在粗糙的水平桌面上有一物体 A，用水平推力 F 能

使其以加速度 a 在水平桌面上做匀加速直线运动；若把推力增加为原来的 2 倍，能使物体 A 以加速度 a' 在水平桌面上做匀加速直线运动. 则 a 与 a' 的关系是(　　)

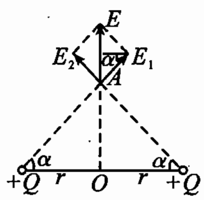
A. $a'=2a$　　B. $a'>2a$　　C. $a'<2a$　　D. $a<a'<2a$

【巧解】 设摩擦力为 f，因推力水平，则有：$F-f=ma \Rightarrow a=\frac{F-f}{m}$

当推力增加为原来的 2 倍时，因摩擦力不会变，则有：$2F-f=ma' \Rightarrow a'=\frac{2F-f}{m}>\frac{2F-2f}{m}=2a$

【答案】 B

例2 带电量为 $+Q$、相距 $2r$ 的两个等量同种电荷位于真空中，求在其连线的中垂线上场强的最大值及出现最大场强点的位置.



42－1

【巧解】 如图 42－1 所示，根据点电荷场强公式及矢量合成法则，可得：

$E=2E_1\sin\alpha=2k\frac{Q}{(r/\cos\alpha)^2}\sin\alpha=\frac{2kQ\sin\alpha\cos^2\alpha}{r^2}$　设 $x=\sin\alpha\cos^2\alpha$，则 $x^2=\sin^2\alpha\cos^4\alpha=4\sin^2\alpha\cdot(\frac{1}{2}\cos^2\alpha)\cdot(\frac{1}{2}\cos^2\alpha)$

$$\leqslant 4\left(\frac{\sin^2\alpha+\frac{1}{2}\cos^2\alpha+\frac{1}{2}\cos^2\alpha}{3}\right)^3=\frac{4}{27}$$

当 $\sin^2\alpha=\frac{1}{2}\cos^2\alpha$ 时，x^2 才能取最大值 $\frac{4}{27}$，则 x 的最大值 $\frac{2\sqrt{3}}{9}$，所以此时 E 的最大值为：$E=\frac{2kQ}{r^2}\times\frac{2\sqrt{3}}{9}=\frac{4\sqrt{3}kQ}{9r^2}$

更多资料干货 关注微信公众号 学习第一线 赠送5000G学习大礼包

且出现 E 最大值处，$\alpha=\arctan\frac{\sqrt{2}}{2}$，有 $OA=\frac{\sqrt{2}}{2}r$

【答案】 在 $OA=\frac{\sqrt{2}}{2}r$ 处 $E=\frac{4\sqrt{3}kQ}{9r^2}$ 为最大.

例3 一段倾斜光滑的直轨道与一段半径为 R 的光滑圆弧轨道相连接，构成如图 42－2 所示的 $ABCD$ 结构，并在连接处圆弧轨道有一个小缺口. 求当 α 取何值时能使小球通过 D 点沿轨道运动，此种情况下小球开始下滑的高度 h 的最小值是多少？

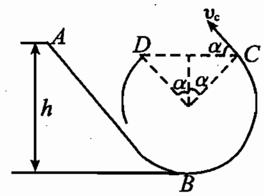


图 42－2

【巧解】 由于轨道光滑，根据机械能守恒有：

$mgh=\frac{1}{2}mv_c^2+mgR(1+\cos\alpha)$

把从 C 点开始的运动分解成水平方向的匀速运动，有 $2R\sin\alpha=v_c\cos\alpha\cdot t$

竖直方向的匀减速运动，则到达顶点有 $v_c\sin\alpha=g\cdot\frac{t}{2}$，由以上三方程整理可得 $h=R+R(\frac{1}{2\cos\alpha}+\cos\alpha)\geqslant R+2R\sqrt{\frac{1}{2\cos\alpha}\times\cos\alpha}=R(1+\sqrt{2})$，当 $\frac{1}{2\cos\alpha}=\cos\alpha\Rightarrow\cos\alpha=\frac{\sqrt{2}}{2}$，即 $\alpha=45°$ 时，才能取等号，即 h 有最小值 $(1+\sqrt{2})R$

【答案】 $\alpha=45°$ 时，h 有最小值 $(1+\sqrt{2})R$

巧练1 用一水平推力将静止在粗糙水平面的物体从 A 位置移到 B 位置，物体的速度为 v_0，当把水平推力减为原来的一半时，仍能把物体从 A 位置移到 B 位置，且物体的速度为 v，则 v 与 v_0 的关系是(　　)

A. $v=\frac{1}{2}v_0$　　B. $v=\frac{\sqrt{2}}{2}v_0$　　C. $v>\frac{\sqrt{2}}{2}v_0$　　D. $v<\frac{\sqrt{2}}{2}v_0$

巧练2 如图 42－3 所示，在磁感强度为 B 的匀强磁场中，两根金属杆 OM、ON 在 O 点相接，夹角为 120°. 金属棒 AC 与金属杆接触，接触点是 E、F. $\triangle OEF$ 是等腰三角形，$EO=l$，金属杆、金属棒单位长度的电阻是 r_0，现在让 AC 以加速度 a 从静止开始垂直于 AC 向左运动. 求回路中电功率的最大值，此时 O 点到 AC 的距离是多少？

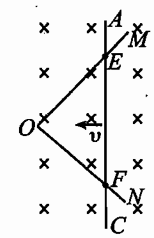


图 42－3

四十三、电流元分析法

为了便于研究把整段电流等效为多段直流电流元，先用左手定则判断出每小段电流元所受安培力的方向，从而判断出整段电流所受合力的方向，最后确定运动方向的方法叫做电流元分析法.

例1 如图 43－1(a)所示，把一通电直导线放在蹄形磁铁的正上方，导线可以自由移动，当导线通过电流时，导线的运动情况是：(从上往下看)(　　)

A. 顺时针方向转动，同时下降.

B. 顺时针方向转动,同时上升.

C. 逆时针方向转动,同时下降.

D. 逆时针方向转动,同时上升.

【巧解】 如图 43－1(b) 所示,把直线电流等效为 AO、BO 两段电流元,蹄形磁铁磁感线分布以及两段电流元受安培力的方向如图中的实线箭头所示. 可见,从上往下看导线将逆时针转动. 当导线转动之后,就将受到水平磁感线向下的安培力(如图中的虚经箭头所示),则导线在转动的同时还将向下运动.

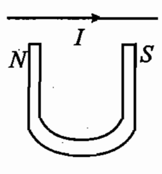


图 43－1(a)

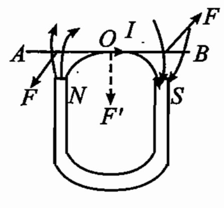


图 43－1(b)

【答案】 C

例2 一个可自由移动的线圈 L_1 和一个固定的线圈 L_2 互相绝缘垂直放置,且两个圆线圈的圆心重合,当两线圈都通过如图 43－2(a) 所示的电流方向时,则从左向右看,则线圈 L_1 将(　　)

A. 不动　　B. 顺时针转动

C. 逆时针转动　　D. 向纸外运动

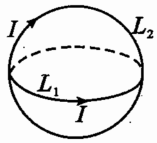


图 43－2(a)

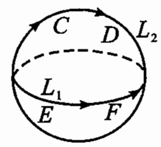


图 43－2(b)

更多资料干货 关注微信公众号学习第一线 赠送5000G学习大礼包

【巧解】 如图 43－2(b) 所示,在线圈 L_2、L_1 上分别取电流元 CD、EF,这就构成两条平行载流直导线. CD 不动(线圈 L_2 固定),由同向电流相互吸引,则 EF 将向 CD 靠拢,所以从左向右看线圈 L_1 将逆时针转动.

【答案】 C

例3 直导线 ab 与圆线圈的平面垂直,且隔着一段距离,其中直导线固定,当两线圈都通过如图 43－3(a) 所示的电流方向时(同时通电),从左向右看,线圈将(　　)

A. 不动

B. 顺时针转动,同时靠近导线

C. 顺时针转动,同时离开导线

D. 逆时针转动,同时靠近导线

【巧解】 如图 43－3(b) 所示,在线圈上取四段电流元. 因 ab 不动,会产生垂直于纸面向里的磁场,图示中的左右两电流元不会受力,而根据左手定则前面的电流元受到向上的安培力,后面的电流元受到向下的安培力,所以从左向右看,线圈将逆时针转动. 由于转动,就将使左边的电流元与载流导线 ab 形成同向电流而相互吸引,而使右边的电流元与载流导线 ab 形成反向电流而相互排斥,但左边离导线 ab 近,所以吸引力大于排斥力,则会靠拢.

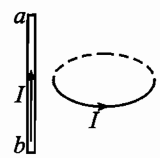


图 43－3(a)

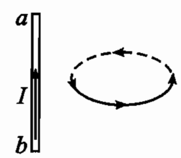


图 43－3(b)

【答案】 D

巧练1 如图 43－4 所示,原来静止的线圈同一逆时针方向的电流 I,在其直径 AB 上靠近 B 点放一根垂直于线圈平面的固定不动的长直导线. 电流方向如图所示,在磁场作用下圆线圈将(　　)

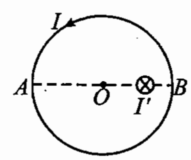


图 43－4

A. 向左平动　　B. 向右平动

C. 以 AB 轴转动,同时向左移　　D. 静止不动

巧练2 如图 43－5 所示是把一通电直导线放在一光滑绝缘的水平桌面 AB 上的剖面图,水平桌面 AB 中间有一圆孔. 现把蹄形磁铁放在桌面的下方,当导线通过电流后,导线的运动及受力情况是:(从上往下看)(　　)

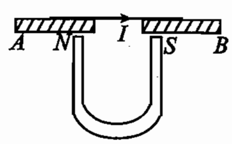


图 43－5

A. 时针方向转动,同时所受支持力减小.

B. 时针方向转动,同时所受支持力增大.

C. 逆时针方向转动,同时所受支持力减小.

D. 逆时针方向转动,同时所受支持力增大.

四十四、估算法

根据实际情况来拟定某些物理量合理近似值,或在考虑现象(问题)的主要因素忽略次要因素的前提下,用自己熟悉的模型来模拟这一实际物理现象,从而进行计算的方法叫做估算法.

说明:①对于分子、原子方面的估算,一般情况忽略分子间的间隙,建立理想化的微观模型(如球形、正方体);

②在一些天体运动方面的估算题中,常存在一些隐含的条件,应加以利用. 如在地球表面物体受到地球的引力近似等于重力. 地面附近的重力加速度 $g = 10\mathrm{m/s^2}$;地球自转周期 $T = 24\mathrm{h}$,公转周期 $T = 365$ 天,月球绕地球运动的周期约为 27 天等;

③若题要求保留一位有效数字,有效数字计算规则告诉我

们：在代入数据运算时，只要按四舍五入的方法代入二位（比要求多保留一位）有效数字即可，这样可避免无意义的冗长计算，最后在运算结果中再按四舍五入保留到所要求的一位即可.

例1 已知铜的摩尔质量为 6.4×10^{-2} kg/mol，密度为 8.9×10^3 kg/m^3，阿伏伽德罗常数为 6.0×10^{23} mol^{-1}，试估算铜原子的直径.（要求一位有效数字）

【巧解】 对固体或液体来说，分子间隙的数量级远小于分子大小的数量级，所以在估算一个分子（或原子）大小的数量级时，可以忽略分子的间隙，近似地认为组成它们分子（或原子）是一个挨着一个紧密排列的. 根据固体或液体这一理想化的微观构成模型及阿伏伽得罗常数 N_A，1mol 的任何固体或液体，都含有 N_A 个分子（或原子），其摩尔体积 $V_摩$ 可近似地看作等于 N_A 个分子（或原子）体积 V 的总和，据此便可求出一个分子（或原子）的体积 $V=\frac{V_摩}{N_A}$，如果把一个分子（或原子）想像成一个球体，则可进一步求出一个分子（或原子）的直径 $d=\sqrt[3]{\frac{6V}{\pi}}$，

∴ 每一个铜原子的体积和直径分别为

$$V=\frac{M_摩}{\rho N_A}=\frac{6.4\times10^{-2}}{8.9\times10^3\times6.0\times10^{23}}\text{m}^3=1.2\times10^{-29}\text{m}^3$$

$$d=\sqrt[3]{\frac{6V}{\pi}}=\sqrt[3]{\frac{6\times1.2\times10^{-29}}{3.14}}\text{m}=3\times10^{-10}\text{m}$$

【答案】 3×10^{-10}m

例2 把地球绕太阳公转看作是匀速圆周运动，轨道平均半径约为 1.5×10^8km，已知万有引力常量 $G=6.67\times10^{-11}$N·m^2/kg^2，则可估算出太阳的质量约是多少 kg？（结果取一位有效数字）

更多资料干货 关注微信公众号 学习第一线 赠送5000G学习大礼包

【巧解】 由日常知识可知：地球绕太阳公转一周为 365 天，即 $T=365\times24\times3600\text{s}=3.15\times10^7\text{s}$

万有引力提供向心力 $G\frac{Mm}{r^2}=mr(\frac{2\pi}{T})^2$

又∵ $r=1.5\times10^8km=1.5\times10^{11}m$

∴ 太阳质量 $M=\frac{4\pi^2r^3}{GT^2}=\frac{4\times3.1^2\times(1.5\times10^{11})^3}{6.7\times10^{-11}\times(3.2\times10^7)^2}\text{kg}=1\times10^{30}\text{kg}$

【答案】 1×10^{30}kg

例3 （上海高考题）（1）1791 年，米被定义为：在经过巴黎的子午线上，取从赤道到北极长度的一千万分之一. 请由此估算地球的半径 R.（答案保留二位有效数字）

（2）太阳与地球的距离为 1.5×10^{11}m，太阳光以平行光束入射到地面. 地球表面 2/3 的面积被水面所覆盖，太阳在一年中辐射到地球表面水面部分的总能量 W 约为 1.87×10^{24}J. 设水面对太阳辐射的平均反射率为 7%，而且将吸收到的 35% 能量重新辐射出去. 太阳辐射可将水面的水蒸发（设在常温、常压下蒸发 1kg 水需要 2.2×10^6J 的能量），而后凝结成雨滴降落到地面.

（a）估算整个地球表面的年平均降雨量（以毫米表示，球面积为 $4\pi R^2$）.

（b）太阳辐射到地球的能量中只有约 50% 到达地面，W 只是其中的一部分. 太阳辐射到地球的能量没能全部到达地面，这是为什么？请说明二个理由.

【巧解】 （1）$2\pi R\times1/4=1.00\times10^7$ $R=6.37\times10^6$m

（2）（a）设太阳在一年中辐射到地球水面部分的总能量为 W，$W=1.87\times10^{24}$J

凝结成雨滴年降落到地面水的总质量为 m

$$m=\frac{W\times0.93\times0.65}{2.2\times10^6}=5.14\times10^{17}\text{kg}$$

使地球表面覆盖一层水的厚度为 h

$$h=\frac{m}{\rho s_{地球}}=\frac{m}{\rho\times4\pi R^2}$$

代入数据得：$h=1.01\times10^3$mm 整个地球表面年平均降雨量约为 1.0×10^3mm

（b）大气层的吸收，大气层的散射或反射，云层遮挡等.

【答案】 6.37×10^6m （2）1.0×10^3mm；大气层的吸收，大气层的散射或反射，云层遮挡等.

巧练 1789 年英国著名物理学家卡文迪许首先估算出了地球的平均密度. 根据你学过的知识，能否知道地球密度的大小？

四十五、节点电流守恒法

在电路中流入某一个节点（三条或三条以上电线的交点）的电流总和等于流出这一节点的电流总和. 用此结论来分析复杂（不能简化）电路中各量间关系的方法叫做节点电流守恒法.

例1 有 7 个电阻同为 R 的网络如图 45－1（a）所示，试求 A、B 间的等效电阻 R_{AB} 为多少？

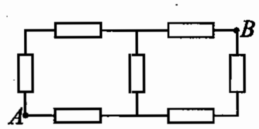


图 45－1（a）

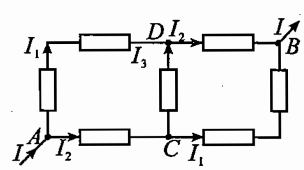


图 45－1（b）

【巧解】　由对称性易得各支路电流关系如图 45－1(b)，则：

$I_1 \cdot 2R = I_2R + I_3R$　①

根据节点电流守恒：在节点 A 处有　$I = I_1 + I_2$　②

在节点 $C(D)$ 处有　$I_2 = I_3 + I_1$　③

由①②③式，可得　$I_1 = \frac{2}{5}I$　$I_2 = \frac{3}{5}I$

从 ADB 看有：$U_{AB} = IR_{AB} = I_1 \cdot 2R + I_2 \cdot R = \frac{7}{5}IR$

所以 $R_{AB} = \frac{7}{5}R$

【答案】　$R_{AB} = \frac{7}{5}R$

例2　如图 45－2 所示电路中，$R_1 = R_6 = 3\Omega$，$R_2 = R_5 = 2\Omega$，$R_3 = R_4 = 1\Omega$，$R_7 = R_8 = 2\Omega$，求外电路的总电阻为多少？

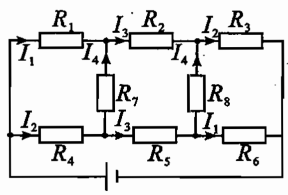


图 45－2

【巧解】　根据电路的对称性，可判断流经 R_1、R_6 的电流相等，记为 I_1；流经 R_3，R_4 的电流相等，记为 I_2；流经 R_2，R_5 的电流相等，记为 I_3；设流经 R_7 的电流向上，记为 I_4，则依据各接点的电流守恒的关系可推断出，流经 R_8 的电流也向上，也为 I_4，且有：

$I_3 = I_1 + I_4$，$I_2 = I_3 + I_4$.

又 R_1 两端电压等于 R_4 与 R_7 两端的电压之和，即 $3I_1 = I_2 + 2I_4$.

更多资料干货 关注微信公众号 学习第一线 赠送5000G学习大礼包

由以上三式解得　$I_2 = 2I_1$，$I_3 = \frac{3}{2}I_1$，$I_4 = \frac{1}{2}I_1$

总电流 $I = I_1 + I_2 = 3I_1$，故 $I_1 = \frac{I}{3}$，电路总电压：$U = I_1R_1 + I_3R_2 + I_2R_3 = 8I_1 = \frac{8}{3}I$，外电路的总电阻：$R = \frac{U}{I} = \frac{8}{3}\Omega$

【答案】　$R = \frac{8}{3}\Omega$

例3　如图 45－3A 所示电路，R_1、R_2 表示输电线对地的绝缘电阻．电源电压 $U = 600\text{V}$，R 为负载电阻，将 S 接到 1 时，电压表示数为 －300V；当 S 接 2 时，电压表示数为 ＋120V，已知电压表内阻 $R_V = 200\text{k}\Omega$，求电阻 R_1、R_2 的值（导线电阻不计）．

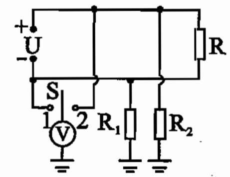


图 45－3A

【巧解】　画等效电路如图 45－3B 所示，S 接 1 时，Ⓥ示数大小为 300V，为电源电压的一半，所以得：

$\frac{R_1R_V}{R_1 + R_V} = R_2$

S 接 2 时，Ⓥ示数为 120V，由电路图可知：

$R_2R_V/(R_2 + R_V):R_1 = 1:4$

解得：$R_1 = 300\text{k}\Omega$，$R_2 = 120\text{k}\Omega$

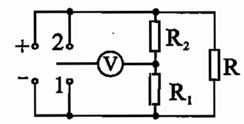


图 45－3B

【答案】　$R_1 = 300\text{k}\Omega$，$R_2 = 120\text{k}\Omega$

巧练1　如图 45－4 所示的电路，有 5 个电阻，$R_1 = R_4 = 2R$，$R_2 = R_3 = R_5 = R$，求 A、B 两点间的电阻值？

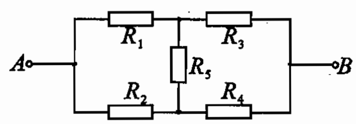


图 45－4

巧练2　十二根电阻丝组成一立方体，如图 45－5 所示．每根电阻丝的阻值为 r，求 A、G 两点间的电阻 R_{AG}.

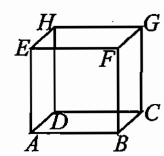


图 45－5

四十六、拉密定理法

根据拉密定理：一个物体在共点力作用下处于平衡状态且三力作用线共面（如图 46－1），那么有 $\frac{F_1}{\sin\alpha} = \frac{F_2}{\sin\beta} = \frac{F_3}{\sin\gamma}$，用此结论解题的方法叫做拉密定理法．

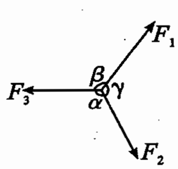


图 46－1

例1　（2004·广东，广西）用三根轻绳将质量为 m 的物块悬挂在空中，如图 46－2 所示．已知 ac 和 bc 与竖直方向的夹角分别为 30°和 60°，则 ac 绳和 bc 绳中的拉力分别为（　　）

A. $\frac{\sqrt{3}}{2}mg, \frac{1}{2}mg$　　B. $\frac{1}{2}mg, \frac{\sqrt{3}}{2}mg$

C. $\frac{\sqrt{3}}{4}mg, \frac{1}{2}mg$　　D. $\frac{1}{2}mg, \frac{\sqrt{3}}{4}mg$

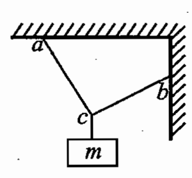


图 46－2

【巧解】　根据题意易得 ac 绳与 bc 绳夹角 90°，ac 绳与 mc 绳夹角 150°，mc 绳与

bc 绳夹角 120°,由拉密定理得:$\frac{mg}{\sin90°}=\frac{F_{ac}}{\sin120°}=\frac{F_{bc}}{\sin150°}$

$\therefore F_{ac}=\frac{\sqrt{3}}{2}mg \quad F_{bc}=\frac{1}{2}mg$

【答案】 A

例2 如图 46-3 所示,B、C 两小球的重力均为 G,用细绳悬挂于 M、N 两点而静止.求:MB 和 CN 两根细绳的拉力各多大?

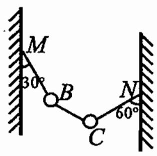


图 46-3

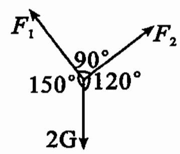


图 46-4

【巧解】 把两球看作一个整体,由平衡可知两绳的拉力与总重力必交于同一点,且各力间的夹角如图 46-4 所示,根据拉密定理可得:$\frac{2G}{\sin90°}=\frac{F_1}{\sin120°}=\frac{F_2}{\sin150°}$

$\therefore F_1=\sqrt{3}G. F_2=G$

例3 用 AB 和 CD 两根绳悬挂一小轻环,A、C 两点在同一水平面上,如图 46-5 所示.已知 $AC=50$cm,$AB=30$cm,$CD=40$cm,AB 绳能承受的最大拉力为 5N,CD 绳能承受的最大拉力为 4N,问小环最多能悬挂多重的物体?(已知环下悬挂重物 G 的悬绳不会断)

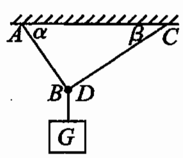


图 46-5

更多资料干货关注微信公众号 学习第一线 赠送5000G学习大礼包

【巧解】 设 AB 与水平面的夹角为 α,CD 与水平面的夹角为 β,由几何关系可知 AB 与 CD 夹角为 90°,$\cos\alpha=0.6$,$\cos\beta=0.8$,AB 的对角 $\angle CDG=90°+\beta$,CD 的对角 $\angle ABG=90°+\alpha$,由拉密定理得:$\frac{G}{\sin90°}=\frac{F_{AB}}{\sin(90°+\beta)}=\frac{F_{CD}}{\sin(90°+\alpha)}$

$\therefore$ 当 AB 绳的拉力为 5N 时,$G_1=\frac{F_{AB}}{\sin(90°+\beta)}=\frac{F_{AB}}{\cos\beta}=\frac{5}{0.8}=6.25$N

当 CD 绳的拉力为 4N 时,$G_2=\frac{F_{CD}}{\sin(90°+\alpha)}=\frac{F_{CD}}{\cos\alpha}=\frac{4}{0.6}\approx6.67$N

故当重力达到 6.25N 时,AB 绳就达到最大值,而当重力达到 6.67N 时,CD 绳才达到最大值,但还没达到时 AB 绳就断,所以要绳都不断最多能悬挂 6.25N.

【答案】 6.25N

巧练1 如图 46-6 所示,一小球在纸面内来回振动,当绳 OA 与 OB 拉力相等时,摆线与竖直面夹角为 α(　　)

A. 30°　　B. 45°

C. 15°　　D. 60°

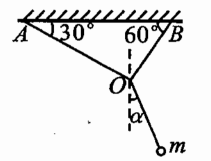


图 46-6

巧练2 如图 46-7 所示,用绳 AC 和 BC 吊起一个重 50N 的物体,两绳 AC、BC 与竖直方向的夹角分别为 30°和 60°,求:绳 AC 和 BC 对物体的拉力.

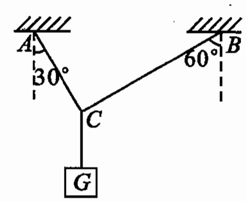


图 46-7

四十七、代数法

在物理研究中针对研究对象不同的特点,运用数学概念、方法和技巧,对研究对象进行量的分析、描述、计算和推导,从而找出能以数学形式表达物理量的规律性的方法叫代数法.本方法将介绍韦达定理解题法、配方法和△判别试法,其中又以配方法、△判别式法为重点.

(一)应用韦达定理解题

若一元二次方程 $ax^2+bx+c=0$ 的两个根为 x_1、x_2,则 $x_1+x_2=-\frac{b}{a}$,$x_1\cdot x_2=\frac{c}{a}$.这就是韦达定理.

例1 有两个电容器,串联时总电容值为 4μF,并联时电容值为 18μF,求这两个电容值各为多少?

【巧解】 设这两个电容器的电容分别为 C_1、C_2,则 $\frac{1}{C_1}+\frac{1}{C_2}=\frac{1}{4}$,$C_1+C_2=18$

由此两式可得 $C_1C_2=72$

根据韦达定理,设 C_1、C_2 为一元二次方程的两个根,则有 $C^2-18C+72=0$

解得　$C_1=12\mu F, C_2=6\mu F$

【答案】 $C_1=12\mu F, C_2=6\mu F$

例2 以初速度 v_0 竖直上抛一物体,已知 t_1 秒末上升到 h 高处,在 t_2 秒末又回到同一高度 h 处,试证明:$h=\frac{g^2}{4v_0}t_1\cdot t_2(t_1+t_2)$

【巧证】 此题如果直接用物理公式推导是很烦琐、复杂的，可以借用数学工具来找捷径，摆脱单纯用物理公式去推演.

由竖直上抛可得方程 $h=v_0t-\frac{1}{2}gt^2$ 即 $t^2-\frac{2v_0}{g}t+\frac{2h}{g}=0$ ①

设 t_1、t_2 为方程①的两个根，由韦达定理可得：

$$\begin{cases}t_1+t_2=\frac{2v_0}{g} & ②\\ t_1\cdot t_2=\frac{2h}{g} & ③\end{cases}$$

则有：$(t_1+t_2)t_1t_2=\frac{4v_0}{g^2}h$

所以可证得：$h=\frac{g^2}{4v_0}t_1\cdot t_2(t_1+t_2)$

巧练1 有两个等长的轻质弹簧，串联悬挂一个2N的重物时，两弹簧共伸长8cm；并联悬挂一个36N的重物时，两弹簧均伸长2cm. 求这两个弹簧的劲度系数各为多少？

巧练2 一个物体在光滑的水平面上因受到恒定的外力作用而作匀变速运动，其运动方程为 $s=3t^2-8t+9$，求该物体两次过 $s=7$m 的位置的时间间隔为多少？

（二）应用配方法解题

在求解物理问题中的最值问题时，根据物理公式建立数学函数关系，利用配方法不仅可找到要求的最值，通过对对应最值条件的讨论，还能找到具有该最值所对应的物理情景.

更多资料干货 关注微信公众号 学习第一线 赠送5000G学习大礼包

例3 如图47－1所示的电路中，电源电动势 $E=5$V，内阻 $r=1$ 欧姆，固定电阻 $R=99$ 欧姆，R_0 是可变电阻，在由0变化到400欧姆的过程中，可变电阻 R_0 上消耗的最大的热功率是多少？

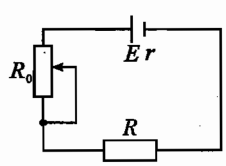


图47－1

【巧解】 根据物理公式有：

$P_Q=I^2R'_0$（R'_0 是滑动变阻器 R_0 的有效值）

$$I=\frac{E}{R+r+R'_0}$$

所以有

$$P_Q=\left(\frac{E}{R+r+R'_0}\right)^2R_0'=\frac{E^2R'_0}{[(R+r)+R'_0]^2}$$

$$=\frac{E^2}{\frac{[(R+r)-R'_0]^2}{R'_0}+\frac{4(R+r)R'_0}{R'_0}}$$

$$=\frac{E^2}{\frac{[(R+r)-R'_0]^2}{R'_0}+4(R+r)}$$，当 $R'_0=R+r$ 时，滑动电阻 R_0 上消耗的热功率 P_Q 有最大值：

$$P_Q=\frac{E^2}{4(R+r)}=\frac{25}{4\times(99+1)}=6.25\times10^{-2}\text{W}$$

【答案】 6.25×10^{-2}W

例4 甲、乙两车同时从同一地点出发，甲以8m/s的初速度、1m/s² 的加速度做匀减速直线运动，乙以2m/s的初速度、0.5 m/s² 的加速度和甲同向做匀加速直线运动，求两车再次相遇前两车相距的最大距离和再次相遇时两车运动的时间.

【巧解】 设在t时间内，甲车运动的位移为 $s_甲$，乙车运动的位移为 $s_乙$，则：

$$s_甲=v_甲t-\frac{1}{2}a_甲t^2\quad s_乙=v_乙t+\frac{1}{2}a_乙t^2$$

某一时刻两车相距 Δs，则：

$$\Delta s=s_甲-s_乙=v_甲t-\frac{1}{2}a_甲t^2-(v_乙t+\frac{1}{2}a_乙t^2)$$

$$=(v_甲-v_乙)t-\frac{1}{2}(a_甲+a_乙)t^2$$

$$=(8-2)t-\frac{1}{2}(1+0.5)t^2=6t-\frac{3}{4}t^2$$

$$=-\frac{3}{4}(t^2-8t+16)+12=-\frac{3}{4}(t-4)^2+12$$

所以，当 $t=4$s 时两车相距最远，此时最大距离 $\Delta s=12$m

当相遇时：$\Delta s=6t-\frac{3}{4}t^2=0$　解得：$t=0$（舍）　$t=8$s

【答案】 $\Delta s=12$m　$t=8$s

例5 如图47－2所示，原长 L_0 为100cm的轻质弹簧放置在一光滑的直槽内，弹簧的一端固定在槽的 O 端，另一端连接一小球. 这一装置可以从水平位置开始绕 O 点缓慢地转动到竖直位置. 设弹簧的形变总是在其弹性限度内. 试在下述（1）、（2）两种情况下，分别求出这种装置从原来的水平位置开始缓慢地绕 O 点转到竖直位置时，小球离开原水平面的高度 h_0.

（1）在转动过程中，发现小球距原水平面的高度出现极大值，且极大值 h_m 为40cm；

（2）在转动过程中，发现小球离原水平面的高度不断增大.

【巧解】 （1）设小球质量为 m，弹簧劲度系数为 k，当槽转至倾角 θ 时，球的高度为 h，由胡克定律有：

$$k(L_0-\frac{h}{\sin\theta})=mg\sin\theta$$

转到竖直位置时，有：$k(L_0-h_0)=mg$

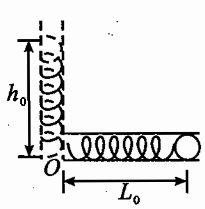


图47－2

由上述两式可解得：$h=-(L_0-h_0)\sin^2\theta+L_0\sin\theta$

$$=-(L_0-h_0)\left[\sin\theta-\frac{L_0}{2(L_0-h_0)}\right]^2+\frac{L_0^2}{4(L_0-h_0)}$$

所以，当 $\sin\theta=\frac{L_0}{2(L_0-h_0)}$ 时，h 有极大值：$h_m=\frac{L_0^2}{4(L_0-h_0)}$

则 $h_0=L_0-\frac{L_0^2}{4h_m}=37.5$cm

（2）根据 h 的表达式可知，当 $\frac{L_0}{2(L_0-h_0)}\geqslant\sin90°$ 时，则在转

动过程中，小球离原水平面的高度就将一直不断地增大，由此可解得：$\frac{L_0}{2(L_0-h_0)}\geqslant 1\Rightarrow h_0\geqslant\frac{L_0}{2}$

代入数据，可得：$50cm\leqslant h_0<100cm$

例6 如图47－3所示，金属杆MN放在相同导体制成的金属框$abcd$上，接触良好，bc边与x轴重合，以b为坐标原点，矩形框长$2L$，宽为L，单位长度的电阻为R_0，磁感应强度为B的匀强磁场与框架平面垂直．现对MN杆施加沿x轴正方向的拉力，使之从框架左端开始，以速度v向右匀速运动，不计摩擦，求作用在MN杆上的外力最大值与最小值之比．

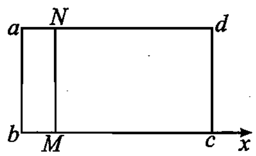


图47－3

【巧解】 设导体杆MN的坐标为x，则杆左侧电阻R_1和右侧电阻R_2分别为

$$R_1=(L+2x)R_0\quad R_2=[L+2(2L-x)]R_0=(5L-2x)R_0$$

所以，回路的总电阻 $R=\frac{R_1R_2}{R_1+R_2}+LR_0=\frac{11L^2+8Lx-4x^2}{6L}R_0$

杆在运动时产生的感应电动势为$E=BLv$

根据欧姆定律可得杆中电流为

$$I=\frac{E}{R}=\frac{6BL^2v}{(11L^2+8Lx-4x^2)R_0}$$

为使MN能匀速移动，作用在杆上的外力为

$F=F_{安}=\frac{6B^2L^3v}{(11L^2+8Lx-4x^2)R_0}$ 令$y=-4x^2+8Lx+11L^2$，其对称轴$x=L$，又由于本二次函数有定义域$[0,2L]$，所以此函数存在边界极值，将$x=0$，$x=2L$分别代入函数式，得$y_1=11L^2$，$y_2=11L^2$，即是y的最小值为$11L^2$，即F有最大值$F_{max}=\frac{6B^2Lv}{11R_0}$，由于$y=-4x^2+8Lx+11L^2=-4[(x-L)^2-\frac{15}{4}L^2]$，所以当$x=L$时，$y_{max}=15L^2$，即$F$有最小值$F_{min}=\frac{2B^2Lv}{5R_0}$

更多资料下载 关注微信公众号 学习第一线 赠送5000G学习大礼包

故 $F_{max}:F_{min}=15:11$

巧练3 甲、乙两车同时从同一地点出发，甲的初速度为零，以$2m/s^2$的加速度做匀加速直线运动，乙以$8m/s$的速度和甲同向做匀速直线运动，求两车再次相遇前什么时候相距的最远以及最远距离是多少？

巧练4 有一电源电动势$E=220V$，内阻为$r=4\Omega$．为了保护用电器，在用电器接入电路时串联了一个阻值$R=7\Omega$的电阻，问怎样的用电器可以获得最大的功率？

（三）应用△判别式法解题

在求解某些物理问题的最值和取值范围时，根据物理公式建立数学函数关系，把要求的物理量看作常数，利用二次函数的△判别式$\Delta\geqslant 0$或$\Delta<0$就能找到要求的物理量．

例7 汽车以$10m/s$的速度在平直的公路上匀速行驶，突然发现前方sm处有一辆自行车正在以$4m/s$的速度做同方向的匀速直线运动，汽车立即关闭油门并以$6m/s^2$的加速度做匀减速直线运动．如果汽车恰好撞不上自行车，则s有多大？

【巧解】 假定恰好相撞，则由位移关系有：

$s+v_{自}t=v_{汽}t+\frac{1}{2}a_{汽}t^2$，代入数据，整理得：$3t^2-6t+s=0$，若汽车撞不上自行车，方程必定无解，则$\Delta<0$ 即 $\Delta=6^2-4\times 3\times s<0\Rightarrow s>3m$

【答案】 大于3m

例8 如图47－4所示，在光滑的水平轨道上有两个半径为r的小球A和B，开始时B球与C点相距L，A球在远离B球处以速度v_0沿两球心连线向原来静止的B球运动．设当A球到达C点时即获得加速度$a_1=-2k$（k为常数，$k>0$）而做匀减速直线运动，同时B球在此时也获得加速度$a_2=k$而做匀加速直线运动．欲使两球不发生接触，必须满足什么条件？

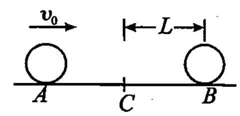


图47－4

【巧解】 设经过时间t两球接触，根据追及问题列出关于时间t的一元二次方程，若判别式$\Delta<0$，则方程无解，两球不发生接触．则根据题意可列出

$$v_0t+\frac{1}{2}\times(-2k)t^2-\frac{1}{2}kt^2=L-2r$$

若$\Delta<0$则方程无解，于是得

$$v_0^2-4\times\frac{3}{2}k(L-2r)<0\Rightarrow v_0<\sqrt{6k(L-2r)}$$

所以，$v_0<\sqrt{6k(L-2r)}$，两球不接触．

例9 如图47－5所示，用轻线把质量为M的圆环挂起来．环上套有两个质量均为m的小环，它们可以无摩擦的在大环上滑动．若两小环同时从大环顶部由静止开始向两边滑下，试证明：如果$m\geqslant\frac{3}{2}M$，则大环会升起．

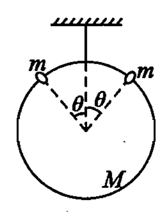


图47－5

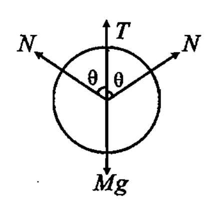


图47－6

【巧证】 要使大环升起必须有悬线张力为零，现设悬线中张力为T，大环与小环相互作用力大小为N，小环滑到某一位置时速度大小为v，大环半径为R，则

对大环：$T+2N\cos\theta-Mg=0$ ①

对小环：$mg\cos\theta+N=m\frac{v^2}{R}$ ②

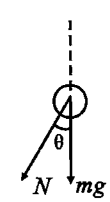


图47－7

$mgR(1-\cos\theta)=\frac{1}{2}mv^2$　　③

由①②③式可得　$6mg\cos^2\theta-4mg\cos\theta+Mg=T$

大环上升时 $T=0$，则 $6mg\cos^2\theta-4mg\cos\theta+Mg=0$

此式为 $\cos\theta$ 的一元二次方程，要使方程有解，必有 $\Delta\geqslant0$，即 $(-4m)^2-4\times6mM\geqslant0\Rightarrow m\geqslant\frac{3}{2}M$　所以，当 $m\geqslant\frac{3}{2}M$ 时，大环会升起.

巧练5　如图47－8所示，在倾角为 θ 的光滑斜面顶端有一个小物体 A 由静止开始下滑，同时另一个小物体 B 自静止开始由斜面底端向左以恒定加速度 a 沿光滑水平面运动，A 滑下后能沿斜面底部光滑的小圆弧平稳的向 B 追去，为使 A 能追上 B，B 的加速度的最大值是多少？

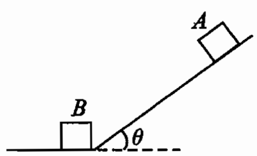


图47－8

巧练6　如图47－9所示，位于水平面内的两条平行导轨相距 $l=0.3$m，一端连接电动势 $E=6$V、内阻不计的电源和一阻值 $R=5\Omega$ 的电阻. 将一金属杆架在两导轨上，且与导轨垂直，它们之间的滑动摩擦力 $f=0.1$N. 整个装置处在方向竖直向下的匀强磁场中，不计其他电阻，求金属杆可能获得的最大速度 v_m 及所对应的磁感应强度 B.

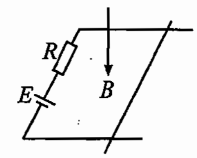


图47－9

四十八、几何法

利用几何图形的等量关系建立各物理量之间的联系的方法叫做几何法.

说明：利用几何法解题可以简化繁琐的计算和复杂的物理公式推导，是中学物理常用的解题方法之一.

例1　如图48－1所示，A、B 是两根相距为 d 的竖直立在地上的木桩，轻绳长为 L 系在两木桩上不等高的 P、Q 两点，C 为光滑的质量不计的滑轮，下面悬挂着重物 G，求轻绳的张力多大？现保持结点 P 的位置不变，当 Q 点的位置变化时，轻绳的张力大小将如何变化？

【巧解】　延长 QC 交 A 杆于 D 点，令 PC 与 A 杆夹角为 α，QC 与 B 杆夹角为 β，因 C 为光滑的滑轮，则左右绳子的拉力相等，那么 $\alpha=\beta$，又由几何关系有：

$\angle PDC=\beta$　　$PC=DC$

$\therefore QD=L$　$\sin\beta=\frac{d}{L}\Rightarrow\cos\beta=\frac{\sqrt{L^2-d^2}}{L}$

由以上分析可画出受力示意图48－2，根据平衡可得：

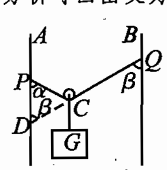


图48－1

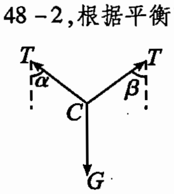


图48－2

$T\cos\alpha+T\cos\beta=2T\cos\beta=G$

$\therefore T=\frac{GL}{2\sqrt{L^2-d^2}}$

当保持结点 P 的位置不变，当 Q 点的位置变化时，延长 QC 交 A 杆于 D 点，因 C 为光滑的滑轮，则左右绳子的拉力相等，那么仍然有 $\alpha=\beta$，又由几何关系始终有：$QD=L$，所以绳子的张力是不会变的.

【答案】　$T=\frac{GL}{2\sqrt{L^2-d^2}}$，$Q$ 点的位置变化时张力是不会变.

例2　如图48－3(a)所示，O、A、B、C、D 在同一竖直圆周上，OA、OB、OC、OD 为四条光滑的弦，一物体由静止在 O 点开始沿各弦下滑到 A、B、C、D 所用时间分别为 t_A、t_B、t_C、t_D 则(　　)

A. $t_D>t_C>t_B>t_A$　　B. $t_A>t_B>t_C>t_D$

C. $t_A=t_B=t_C=t_D$　　D. 无法判断时间关系

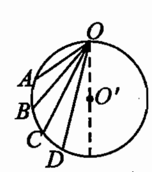


图48－3(a)

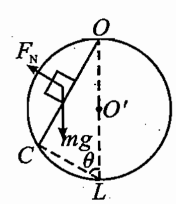


图48－3(b)

【巧解】　设物体沿 OC 下滑，圆周半径为 R，连接 CL，$\angle CLO$

$=\theta$，$\triangle OCL$ 为直角三角形，物体受力如图 48－3(b)所示. 根据几何关系有：

$$mg\sin\theta = ma \qquad 2R\sin\theta = \frac{1}{2}at^2$$

由上两式可得：$t=\sqrt{\dfrac{2R}{g}}$ 由此可见，运动时间与 θ 无关，即说明物体沿不同的弦下滑皆与物体沿竖直直径作自由落体时间相同.

【答案】 C

例3 已知某船在静水中的速率为 v_1，现让船渡过某条河. 假设这条河的两岸是理想的平行线，河宽为 d，河水的流动速度为 v_2，方向与河岸平行. 欲使船以最短位移过河，航向怎样？最短位移是多少？最短位移渡河所用时间是多少？

【巧解】 (1)当船在静水中的速率为 v_1 比河水的流动速度为 v_2 大时，船就可以垂直过河，如图 48－4(a)所示从河岸的 O 点出发. 最短位移就是河的宽度 d，并有：

$v_1\cos\theta = v_2 \Rightarrow \theta = \arccos\dfrac{v_2}{v_1}$，即航向为朝上游与河岸夹角为 θ.

合速度为：$v=\sqrt{v_1^2-v_2^2}$，所以运动的时间：$t=\dfrac{d}{v}=\dfrac{d}{\sqrt{v_1^2-v_2^2}}$

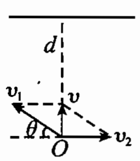


图 48－4(a)

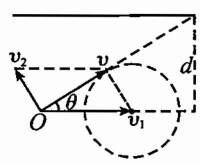


图 48－4(b)

(2)当船在静水中的速率为 v_1 比河水的流动速度为 v_2 小时，船不可以垂直过河，最短位移就不再是河的宽度 d，只有当船速 v_1 与合速度 v 垂直时，如图 48－4(b)所示，这样才能是最短的位移. 由几何关系有：$\sin\theta=\dfrac{v_2}{v_1}\Rightarrow\theta=\arcsin\dfrac{v_2}{v_1}$，即航向为朝上游与河岸夹角为 90°－θ；还有 $\sin\theta=\dfrac{d}{s_{min}}$(式中的 s_{min} 是最小位移)由以上两式可得最小位移：$s_{min}=\dfrac{v_1}{v_2}d$；运动时间为：$t=\dfrac{d}{v_2\cos\theta}$

$$=\frac{d}{v_2\sqrt{1-\sin^2\theta}}=\frac{dv_1}{v_2\sqrt{v_1^2-v_2^2}}$$

巧练1 在"互成角度的两个力的合成"实验中，用 A、B 两弹簧秤拉橡皮条的端点，使它伸长到 O 点，如图 48－5 所示. 现保持 O 点位置和角 β 的大小不变，当角 α 由图示位置逐渐增大时，讨论弹簧秤 A、B 示数的变化情况.(图示 $\alpha+\beta<90°$)

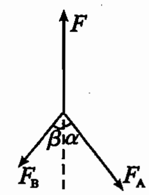


图 48－5

巧练2 有一个小铁球从高 5m 的钢筒顶端边缘以水平速度 $v_0=5$m/s 平行于直径飞入钢筒内，小铁球每次与钢筒碰撞均无速度损失，经多次碰撞落在钢筒底部. 已知钢筒直径为 $d=35$cm，问小铁球最终落在什么位置？

第二部分
同步巧学　活题巧解与综合测试



第一章
匀变速直线运动的研究

难点巧学

一、透彻理解加速度概念

加速度:描述速度变化快慢的物理量,是速度对时间的变化率.大小用 $a=\frac{\Delta v}{\Delta t}$计算.速度的大小或方向只要有一个变化了,就一定有加速度.注意:$a\propto\frac{\Delta v}{\Delta t}$,不是 $a\propto\Delta v$,但 a 的方向与该时间内 Δv 的方向肯定一致,与物体运动的方向没有必然联系,加速度的方向可以和速度的方向相同,可以相反,也可以成一定角度.速度增加;加速度不一定增加,反之,加速度增加,速度不一定增加.

二、区分 $x-t$ 图象和 $v-t$ 图象

要注意匀变速直线运动的 $v-t$ 图象与匀速直线运动中的 $x-t$ 图象的区别.请同学看图1,据图分析甲、乙两图中物体在这60s 内的运动情况.

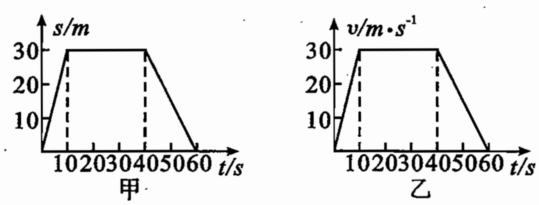


图 1

两图象的形状完全一样,但所包含的物理意义却不同.要分析清物体的运动情况,首先要看图象中的横纵坐标所表示的物理量,根据图象中的图线找到物理量间的关系,从而确定他的运动状态.

在 $x-t$ 图象中可以直接得到位移的大小、正负的变化,在某一段时间里直线斜率的大小即物体运动的速度,斜率为正,说明物体沿正方向运动;斜率为负,说明物体沿负方向运动.从匀变速直线运动的 $v-t$ 图象中可以获取:(1)某时刻的瞬时速度;(2)某段时间内的速度变化量;(3)速度的变化量是正值,还是负值.是正值的话,说明 Δv 与 v 方向相同,是负值的话,说明 Δv 与 v 方向相反.

三、深刻领会三个基础公式

$$v_t=v_0+at,x=v_0t+\frac{1}{2}at^2,\bar{v}=\frac{v_0+v_t}{2}$$

1. 以上三个公式中前两个公式中共有五个物理量:x、t、a、v_0、v_t,这五个物理量中只有三个是独立的,可以任意选定.只要其中三个物理量确定之后,另外两个就唯一确定了.每个公式中只有其中的四个物理量,当已知某三个而要求另一个时,往往选定一个公式就可以了.如果两个匀变速直线运动有三个物理量对应相等,那么另外的两个物理量也一定对应相等.

2. 以上5个物理量中,除时间 t 外,x、a、v_0、v_t 均为矢量.一般以 v_0 的方向为正方向,以 $t=0$ 时刻的位移为零,这时 x、a、v_t 的正负就都有了确定的物理意义.

例1　物体做匀变速直线运动,某时刻速度的大小为4m/s,1s 后速度的大小为10m/s,则在这1s 内物体的(　　)

A. 位移大小可能小于4m

B. 位移大小可能大于10m

C. 加速度大小可能小于4m/s²

D. 加速度大小可能大于10m/s²

【巧解】　速度是矢量,它的大小为10m/s 有两种可能,一种是物体做匀加速直线运动,速度方向是与初速度相同,则它的加速度为6m/s²,位移为7m,另一种是物体做匀减速直线运动,物体先减速到速度为零,然后再反向加速达到10m/s,这时用公式 $a=\frac{v_t-v_0}{t}$计算加速度时,由于 v_t 与 v_0 方向不同,取初速度方向为正方向,则 $v_t=-10\text{m/s}$,$v_0=4\text{m/s}$,所以 $a=\frac{-10-4}{1}\text{m/s}^2=-14\text{m/s}^2$,$x=\frac{(v_0+v_t)\cdot t}{2}=\frac{4-10}{2}=-3\text{m}$.所以选 A、D

四、善用匀变速直线运动几个重要推论

1. $v_t^2 - v_0^2 = 2ax$，此公式是由 $v_t = v_0 + at$ 和 $x = v_0t + \frac{1}{2}at^2$ 消去 t 后得到的，特征是没有时间这个物理量.

2. $\Delta x = aT^2$，即任意相邻相等时间内的位移之差相等. 可以推广到 $x_m - x_n = (m-n)aT^2$.

3. $v_{\frac{t}{2}} = \frac{v_0 + v_t}{2}$，匀变速直线运动某段时间的中间时刻的瞬时速度等于该段时间内的平均速度.

4. $v_{\frac{x}{2}} = \sqrt{\frac{v_0^2 + v_t^2}{2}}$，某段位移的中点位置的即时速度公式（不等于该段位移内的平均速度）

可以证明，无论匀加速匀减速，都有 $v_{\frac{t}{2}} < v_{\frac{x}{2}}$.

五、抓住时空观解决追赶（相遇）问题

1. 在追及和相遇类问题中，最关键就是当追及与相遇时，两物体必位于同一位置，而两物体的运动时间、位移、速度间都有一定联系，要根据各个物体运动的特点，分别列出两物体的位移方程式，然后把两位移相加或相减，代入已知条件，求未知量.

2. 追及物体与被追及物体速度相等是追及问题中的重要临界条件，根据不同的题目条件，速度相等往往是两物体距离最大、最小、恰好追上等临界条件，应进行具体分析.

3. 若被追的物体做减速运动，一定要注意追上之前该物体是否已停止运动.

例2 如图2所示，处于水平面上的 A、B 两物体在同一直线上运动，当他们相距14m时 A 在水平拉力和摩擦力的作用下，以8m/s的速度向右做匀速运动，而物体 B 此时的速度为20m/s，方向向右，它在摩擦力作用下做匀减速运动，加速度大小为4m/s²，则 A 追上 B 所用的时间为（ ）

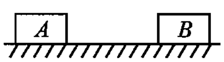


图2

更多资料干货 关注微信公众号 学习第一线 赠送5000G学习大礼包

A. 5s B. 6s C. 7s D. 8s

【误解】 物体 A 位移公式 $x_A = v_At$，物体 B 位移公式 $x_B = v_Bt - \frac{1}{2}at^2$，当 A 比 B 位移多14m时，A 追上 B，即 $x_A - x_B = 14$m，代入数值，解得：$t = 7$s，选C.

【正解】 本题出现误解的原因在于没有正确分析 B 物体的运动，B 做减速运动，5秒时速度已减为零，故在物体 B 的位移公式中，t 最多能取到5秒，而不可能取7s. 物体 B 经5s后速度减为零，减速位移 $x_B = \frac{0 + v_B}{2}t = 50$m，因此 A 运动时间 $t_1 = 8$s，故本题答案为D.

活题巧解

例1 参加汽车拉力赛的越野车，跑完全程所用时间为 t，已知它在前 $t/3$ 时间内的平均速度为 v_1，后 $2t/3$ 时间内平均速度是 v_2，试求该越野车在比赛全程内的平均速度 v 有多大？

【巧解】 公式法

由平均速度定义式可知，全程内平均速度 $\bar{v} = \frac{s}{t} = \frac{S_1 + S_2}{t}$，

而 $S_1 = v_1 \times \frac{t}{3}$，$S_2 = v_2 \times \frac{2t}{3}$ 所以 $\bar{v} = \frac{v_1 \cdot \frac{t}{3} + v_2 \cdot \frac{2}{3}t}{t} = \frac{v_1}{3} + \frac{2v_2}{3}$

例2 一列火车从静止开始做匀加速直线运动，一人站在第一节车厢旁的前端观察，第一节车厢全部通过他历时3s，全部车厢通过他历时9s，设各节车厢长度相等，且不计车厢间距，求：

（1）这列火车共有几节车厢？

（2）最后3s内通过他的车厢有几节？

（3）最后一节车厢通过他需要多少时间？

【巧解】 比例法

此题我们可以假设火车不动，人从第一节车厢前的位置开始做初速度为零的匀加速直线运动的特点来解.

（1）取 $T = 3$s，根据 $s_1:s_2:s_3: \cdots :s_n = 1:2^2:3^2:\cdots:n^2$，有 $s_1:s_3 = 1:9$，$s_3 = 9s_1$，所以这列火车共有9节车厢

（2）取 $T = 3$s，根据 $s_{\text{I}}:s_{\text{II}}:s_{\text{III}}:\cdots = 1:3:5\cdots$，有 $s_{\text{I}}:s_{\text{III}} = 1:5$，$s_{\text{III}} = 5s_{\text{I}}$，所以最后3s内有5节车厢通过他

（3）从初速度为零开始，每经过相邻相同位移所用的时间之比 $t_1:t_2:t_3:\cdots:t_n = 1:(\sqrt{2}-1):(\sqrt{3}-\sqrt{2}):\cdots:(\sqrt{n}-\sqrt{n-1})$，取相等位移长为一节车厢长度，则 $t_1:t_9 = 1:(\sqrt{9}-\sqrt{8})$，所以 $t_9 = (\sqrt{9}-\sqrt{8}) \times 3 = 0.52$s，最后一节（即第9节）车厢通过他需0.52s

例3 做匀变速直线运动的汽车. 通过某一段距离 S 的时间为 t_1，通过下一段同样长距离 S 的时间为 t_2，求汽车的加速度 a.

【巧解】 公式法

由平均速度性质知，物体在 $\frac{t_1}{2}$ 时刻的瞬时速度为 $v_1 = \frac{s}{t_1}$，在 $t_1 + \frac{t_2}{2}$ 时刻的瞬时速度为 $v_2 = \frac{s}{t_2}$，所以 $a = \frac{v_2 - v_1}{t_1 + \frac{t_2}{2} - \frac{t_1}{2}} =$

$$\frac{\frac{s}{t_2} - \frac{s}{t_1}}{\frac{1}{2}(t_1 + t_2)} = \frac{2s(t_1 - t_2)}{t_1t_2(t_1 + t_2)}$$

例4 一物体由斜面底端上滑到顶端恰静止，历时$\sqrt{2}$s，那么它从斜面中点到顶端所用时间是多少？

【巧解】 逆向转换法 比例法

依据题意，有

$t_{CB}:t_{BA} = 1:(\sqrt{2}-1)$ ……①

$t_{CB} + t_{BA} = \sqrt{2}$ ……②

联立①②两式，可得 $t_{CB} = 1$s.

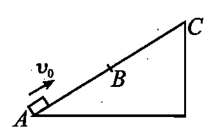


图3

例5 物体沿一直线运动，在 t 时间内通过的路程为 S，它的中间位置 $\frac{1}{2}S$ 处的速度为 v_1，在中间时刻 $\frac{1}{2}t$ 时的速度为 v_2，则 v_1 和 v_2 的关系为（ ）

A. 当物体做匀加速直线运动时，$v_1 > v_2$

B. 当物体做匀减速直线运动时，$v_1 > v_2$

C. 当物体做匀速直线运动时，$v_1 = v_2$

D. 当物体做匀减速直线运动时，$v_1 < v_2$

【巧解】 图像法

依据题意作出图 4(a)和图 4(b)，显然可以直接得出结论。

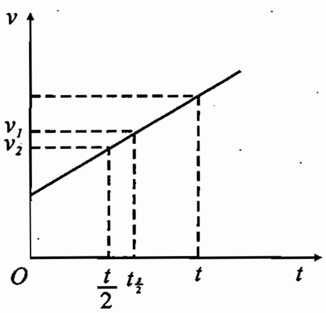


图 4(a)

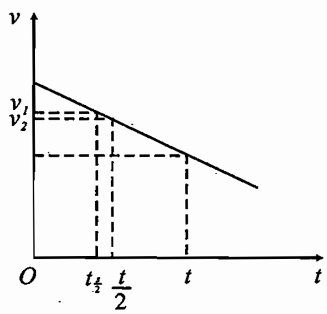


图 4(b)

【答案】 ABC

例 6 一辆公共汽车由静止开始以 $1m/s^2$ 的加速度沿直线前进，车后相距 $S_0 = 25m$ 处，与车行驶方向相同，某人同时开始以 6m/s 的速度匀速追车，问人能否追上汽车？若能追上，求追上时间，若追不上，求人车的最小距离.

【巧解】 假设法

由题意得：人与车运动时间相等，设人经 ts 追上汽车，当追上时，人的位移 $x_人$ 与车的位移 $x_车$ 的关系是 $x_人 - x_车 = S_0$ 即 $v_人 \cdot t - \frac{1}{2}at^2 = S_0$ 整理得 $t^2 - 12t + 50 = 0$

由上式可求 t，若有解则能追上，无解则追不上.

$\because \Delta = b^2 - 4ac = -56 < 0$，故人追不上公共汽车.

更多资料干货 关注微信公众号 学习第一线 赠送5000G学习大礼包

当车与人速度相同时，人与车之间的距离最小. 设人从开始追车到距离最小所用的时间为 t，则有：$v_人 = v_车 = at$，故 $t = \frac{v_人}{a} = 6s$，此时人与车的距离 $\Delta x = S_0 + x_车 - x_人 = 7m$

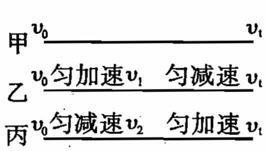
例 7 甲、乙、丙三辆汽车以相同的速度同时经过某一路标. 从此时开始甲车一直做匀速直线运动，乙车先做匀加速运动后做匀减速运动，丙车先做匀减速运动后做匀加速运动他们经过下一个路标时速度又相同，则(　　)

A. 甲车先通过下一个路标

B. 乙车先通过下一个路标

C. 丙车先通过下一个路标

D. 条件不足，无法判断



【巧解】 图象法

以甲车为标准，因为路程相等，三车的初始速度及末速度均为 v_0. 图中所围成的面积即为路程，故可定性观察得 $t_乙 < t_甲 < t_丙$，故选 B.

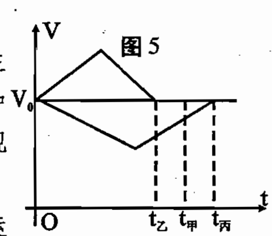


图 5

例 8 一初速为 6m/s 做直线运动的质点，受到力 F 的作用，产生一个与初速度方向相反，大小为 $2m/s^2$ 的加速度，当它的位移大小为 3m 时，所经历的时间不可能为(　　)

A. $(3+\sqrt{6})s$　　B. $(3-\sqrt{6})s$

C. $(3+2\sqrt{3})s$　　D. $(3-2\sqrt{3})s$

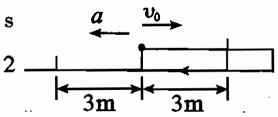


图 6

【巧解】 矢量法　整体法

位移大小为 3m，有可能在出发点右方也可能在左方. 如图 6，若在右方，取向右为正方向，整个过程研究，用公式 $x = v_0t + \frac{1}{2}at^2$，代入数据得 $t_1 = (3+\sqrt{6})s$，$t_2 = (3-\sqrt{6})s$，若在出发点左方，则有 $t_3 = (3+2\sqrt{3})s$，$t_4 = (3-2\sqrt{3})s$(负值，舍去)所以选 D.

例 9 一辆汽车从静止开始做加速直线运动，运动过程中汽车牵引力功率保持恒定，所受的阻力不变，行使 2min 速度达到 10m/s，那么该列车这段时间内行驶的距离(　　)

A. 一定大于 600m　　B. 一定小于 600m

C. 一定等于 600m　　D. 可能等于 1200m

【巧解】 图象法

由公式 $P = F_牵 v, a = \frac{F_牵 - f}{m}$ 可知，汽车做加速度减小的加速运动，作出汽车的速度－时间图象(图线斜率代表加速度，面积表示位移)如图 7 所示，由图象知，物体位移即图中阴影所示的面积，大于三角形 OAB 的面积小于矩形 OCAB 面积，所以选 A.

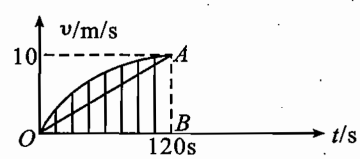


图 7

例 10 相邻铁轨上两辆火车的距离为 d，并分别以 v_1、v_2 的速度相向行驶，在火车间有一鸽子以 v_3 的速度飞翔其间. 当这一鸽子以 v_3 的速度遇上火车 1 时，即刻调头转向飞向火车 2；如此反复，当火车间距离由 d 减为 0 时. 问这一鸽子共飞行多少距离？

【巧解】 等效法

若依鸽子的飞行轨迹去思考，此题将显得非常复杂，但分析题意所描述的情景可知鸽子飞行与两车相遇有等时性. 则可将这一问题等效成一个速度为 v_3 的匀速直线运动问题. 鸽子飞行时间即为两车的相遇时间：$t = \frac{d}{v_1 + v_2}$，所以鸽子飞行距离为：$S = v_3t = \frac{v_3d}{v_1 + v_2}$

例 11 气球以 2m/s 的速度匀速上升，下面系一重物. 在上升到离地 72m 处系重物的绳断了. 试求重物要经过多少秒才能到达地面(g 取 $10m/s^2$)

【巧解】 整体法

系重物的绳断了以后，重物做初速度为 2m/s 的竖直上抛运动，可将自绳断开始到落地的过程看成一个整体，取竖直向上为正方向，运用匀变速直线运动的规律 $x = v_0t + \frac{1}{2}at^2$ 代入数据可得 $t_1 = 4s$，$t_2 = -3.6s$(舍去)

例 12 图 8 中 AB 是光滑斜面，BC 为粗糙平面，B 处有很小的圆弧连接 AB 和 BC 轨道. 质点从 A 静止释放，最终停在 C 点. 已知 A 和 C 总路程为 S. 运动总时间为 t. 则质点运动到 B 点时速度大小为______.

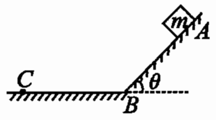


图 8

【巧解】 平均速度法

设在 B 点运动速度为 v，在 AB 段平均速度为 $\frac{0+v}{2}$，在 BC 段平均速度为 $\frac{v+0}{2}$，则由 $\frac{0+v}{2}t_1+\frac{v+0}{2}t_2=S$，又 $t_1+t_2=t$，$\therefore v=\frac{2S}{t}$

例 13 天文观测表明，几乎所有远处的恒星（或星系）都在以各自的速度背离我们而运动. 离我们越远的星体，背离我们运动的速度（称为退行速度）越大；也就是说，宇宙在膨胀，不同星体的退行速度 v 和它们离我们的距离 r 成正比，即 $v=H\cdot r$ 式中 H 为常数，称为哈勃常数，已由天文观测测定. 为解释上述现象，有人提出一种理论，认为宇宙是从一个大爆炸的火球开始形成的，假设大爆炸后各星体即以不同的速度向外匀速运动，并设想我们就位于其中心，则速度越大的星体现在离我们越远. 这一结果与上述天文观测一致.

由上述理论和天文观测结果，可估算宇宙年龄 T，其计算公式为 $T=$________. 根据近期观测，哈勃常数 $H=3\times10^{-2}$ 米/秒·光年，其中光年在一年中行进的距离，由此估算宇宙的年龄为________年.

【巧解】 模型法

更多资料干货关注微信公众号学习第一线 超过5000G学习大礼包

题中给出观测结果：天文观测到不同星体的退行速度和它们离我们的距离成正比，即 $v=H\cdot r$. 有人提出宇宙大爆炸理论（实际是建立一个理想模型）：所有的星系都是从某一时刻起，从我们这个中心向外以不同速度匀速运动，由此可列出匀速运动方程 $T=\frac{r}{v}$. 两方程联立，可得 $T=1/H$ 代入数据得 $T=\frac{1}{H}=10^{10}$ 年.

例 14 一跳水运动员从离水面 10m 高的平台上跃起，举双臂直体离开台面，此时重心位于从手到脚全长的中点，跃起后重心升高 0.45m 达到最高点. 落水时身体竖直，手先入水（在此过程中运动员水平方向的运动忽略不计），则从离开跳台到手触水面. 他可用于完成空中动作的时间是多少？（g 取 $10m/s^2$）

【巧解】 模型法

依题意可知，解答此题的关键是把实际的跳水过程抽象为理想模型：人——质点，过程——竖直上抛. 这样，所求的完成空中动作的时间即为质点从竖直上抛落到水面的时间，运动员跳起达到最高点的时间 $t_1=\sqrt{\frac{2h_1}{g}}=0.3s$，从最高点至水面的高度是 $10+0.45m$. 设自由落体的时间为 t_2，有：$t_2=\sqrt{\frac{2h_2}{g}}=1.446s$，所以 $t=t_1+t_2=1.7s$

例 15 一物体做竖直上抛运动，t_1 时刻上升到坐标位置 x_1，t_2 时刻上升到坐标位置 x_2，物体继续上升到最高点后落至位置 x_2 的时刻为 t_3，继续下落到 x_1 的位置的时刻为 t_4，如图 9 所示，试证明：重力加速度 $g=\frac{8(x_2-x_1)}{(t_4-t_1)^2-(t_3-t_2)^2}$



图 9

【巧证】 对称法

此题求证结果较复杂，若不加选择地直接套用公式，则要列出多个数学关系式，很难理出头绪，若利用竖直上抛运动中时间的对称性——从某一位置 A 升至另一位置 B 和从位置 B 下降至位置 A 所用时间相等. 则使求解过程简便得多. 设最高点落回到位置 x_2 所用时间为 $\frac{t_3-t_2}{2}$，所以 $h_2=\frac{1}{2}g(\frac{t_3-t_2}{2})^2$ 物体由最高点落回 x_1 所用时间为 $\frac{t_4-t_1}{2}$，所以 $h_1=\frac{1}{2}g(\frac{t_4-t_1}{2})^2$，又 $h_1-h_2=x_2-x_1$，联立解得：$g=\frac{8(x_2-x_1)}{(t_4-t_1)^2-(t_3-t_2)^2}$

例 16 滴水法测重力加速度的过程是这样的，让水龙头的水一滴一滴的滴在其正下方的盘子里，调整水龙头，让前一滴水滴到盘子而听到声音时后一滴恰好离开水龙头，测出 n 次听到水击盘声的总时间为 t，用刻度尺量出水龙头到盘子的高度差 h，即可算出重力加速度. 设人能区别两个声音的时间间隔为 $0.1s$，声速为 $340m/s$，则（　　）

A. 水龙头距人耳的距离至少 34m

B. 水龙头距盘子的距离至少 34m

C. 重力加速度的计算式为 $2hn^2/t^2$

D. 重力加速度的计算式为 $2h(n-1)^2/t^2$

【巧解】 推理法

n 次响声间隔时间对应 $(n-1)$ 个水滴下落用的时间，所以一个水滴下落时间 $t_1=\frac{t}{n-1}$，由 $h=\frac{1}{2}gt_1^2$，得 $g=2h/t_1^2=2h(n-1)^2/t^2$. 水龙头到盘子的距离最少应为 $h_{min}=0.05m\neq34m$，另外，需指出人听到两滴水响声的时间间隔与人耳距水龙头距离无关，因而选 D.

例 17 自高为 h 的塔顶自由落下一物体 a，与此同时物体 b 自塔底以初速度 v_0 竖直上抛，且 a、b 两物体在同一直线上运动，下列说法正确的是（　　）

A. 若 $v_0>\sqrt{gh}$，则两物体在 b 上升途中相遇

B. 若 $v_0=\sqrt{gh}$，则两物体在地面相遇

C. 若 $\frac{\sqrt{2gh}}{2}<v_0<\sqrt{gh}$，则两物体在 b 下降途中相遇

D. 若 $v_0<\frac{\sqrt{2gh}}{2}$，则两物体不可能在空中相遇

【巧解】 临界分析法

两物体在空中相遇时，运动时间相等. 设 a 与 b 恰能在 b 上升到最高点时相遇，则运动时间 $t=\frac{v_0}{g}$，则运动时间 $t=\frac{2v_0}{g}$，$h=\frac{1}{2}gt^2$，即 $h=\frac{1}{2}g(\frac{2v_0}{g})^2$，得 $v_0=\sqrt{\frac{gh}{2}}$，可知，当 $\frac{\sqrt{2gh}}{2}<v_0<\sqrt{gh}$ 时，两物体在 b 下降途中相遇. 综上所述正确答案为 A、C、D

例18　如图10所示 ab 和 cd 棒长度均为 L，b 端和 c 端相距 S，当悬挂 ab 棒的细线烧断的同时，将 cd 棒以初速度 v_0 竖直上抛．则①从开始运动到两棒相遇所用的时间为________．②从相遇到分开所用的时间为________．

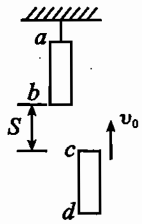


图10

【巧解】　相对运动法

若以地为参照物，ab 做自由落体运动，cd 做竖直上抛运动．若以 ab 为参照物，则 cd 相对 ab 加速度为零，相对初速度 v_0，到相遇时相对位移为 S，则从开始运动到两棒相遇所用时间为 S/v_0，从相遇到分开所经过的相对位移为 $2L$，则所用时间为 $2L/v_0$．

例19　汽车由甲地从静止出发，沿平直公路驶向乙地．汽车先以加速度 a_1 做匀加速运动，然后做匀速运动，最后以加速度 a_2 做匀减速运动，到乙地恰好停下．已知甲、乙两地相距为 s，如果要使汽车从甲地到乙地在加速度 a_1、a_2 大小不变的情况下所用时间最短，汽车应做怎样的运动？最短时间为多少？

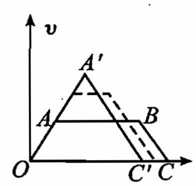


图11

【巧解】　图象法

根据 $v-t$ 图象的斜率、截距、图线与 t 轴间的面积所对应的物理意义，结合几何知识分析求解．

根据 $v-t$ 图象如图11所示，四边形 $OABC$ 的面积表示甲乙两地距离 s，OA、BC 线的斜率表示汽车加速、减速的加速度 a_1、a_2，OC 线段表示汽车从甲地到乙地所用时间 t，要使 t 最短，s、a_1、a_2 不变，须使 BC 沿 t 轴负向平移，得到三角形 $OA'C'$．即汽车先加速运动，后减速运动，中间无匀速运动的过程．行驶的时间最短．

更多资料干货 关注微信公众号 学习第一线 赠送500G学习大礼包

设加速时间为 t_1，减速时间为 t_2，最大速度为 v，由分析可知 $v=a_1t_1=a_2t_2$，$s=\frac{v}{2}(t_1+t_2)$，$t_1=\sqrt{\frac{2a_2s}{(a_1+a_2)a_1}}$，$t_{\min}=t_1+t_2=t_1+\frac{a_1t_1}{a_2}=\frac{a_1+a_2}{a_2}\sqrt{\frac{2a_2s}{a_1(a_1+a_2)}}=\sqrt{\frac{2(a_1+a_2)s}{a_1a_2}}$，所以最短时间为 $\sqrt{\frac{2(a_1+a_2)s}{a_1a_2}}$．

例20　A、B 两点相距 S，将 S 平分为 n 等份，今让一物体（可视为质点）从 A 点由静止开始向 B 运动．物体在每一等分段均做匀加速运动，但每过一个等分点，加速度都增加 a/n，试求该物体到达 B 点时的速度．

【巧解】　归纳法　演绎法

由于物体在每一等分段均做匀加速运动，所以每段运动的初、末速度应满足同样的关系：$v_1^2-v_0^2=2a\frac{s}{n}$，$v_2^2-v_1^2=2a(1+\frac{1}{n})\frac{s}{n}$，$v_3^2-v_2^2=2a(1+\frac{2}{n})\frac{s}{n}\cdots$，$v_n^2-v_{n-1}^2=2a(1+\frac{n-1}{n})\frac{s}{n}$，将上述各式两端分别相加，即得 $v_n^2-v_0^2=2a\frac{s}{n}[1+(1+\frac{1}{n})+\cdots+(1+\frac{n-1}{n})]=2a\frac{s}{n}[n+(\frac{1}{n}+\frac{2}{n}+\cdots\frac{n-1}{n})]=(3-\frac{1}{n})as$，$\therefore v_n=\sqrt{(3-\frac{1}{n})as}$

例21　（2009海南卷）甲乙两车在一平直道路上同向运动，其 $v-t$ 图像如图12所示，图中△OPQ 和△OQT 的面积分别为 s_1 和 s_2（$S_2>S_1$）．初始时，甲车在乙车前方 S_0 处（　　）

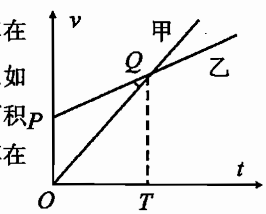


图12

A. 若 $S_0=S_1+S_2$，两车不会相遇

B. 若 $S_0<S_1$，两车相遇2次

C. 若 $S_0=S_1$，两车相遇1次

D. 若 $S_0=S_2$，两车相遇1次

【巧解】　特殊值法　图像法

由 $v-t$ 图像可知：①$S_0=S_1$ 时，乙车恰能追上甲车；②当 $S_0>S_1$ 时，乙车无法追上甲车；③当 $S_0<S_1$ 时，乙车先超过甲车，后来甲车再超过乙车，并且将乙车永远地落在后面。

显然，本题的分类讨论可以放到数轴上，这样可以避免丢解。数轴如图13所示。

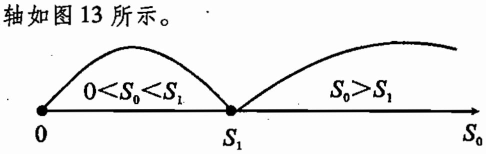


图13

【答案】　ABC.

【说明】　应用 v－t 图像可以较为简洁地处理各种追击问题.

第一章 匀变速直线运动的研究综合测试

一、本题共10小题，每小题4分，共40分. 在每小题给出的四个选项中，有的小题只有一个选项正确，有的小题有多个选项正确. 全部选对的得4分，选不全的得2分，有选错或不答的得0分.

1. 下列说法正确的是(　　)
   A. 加速度增大，速度一定增大
   B. 速度变化量Δv越大，加速度就越大
   C. 物体有加速度，速度就增加
   D. 物体速度很大，加速度可能为零

2. 下列关于质点的正确说法是(　　)
   A. 研究和观察日食时可把太阳看成质点
   B. 原子核很小，可把原子核看作质点
   C. 研究地球的公转时可把地球看作质点
   D. 汽车在平直的公路上前进，研究它的车轮上的一点时可把汽车看作质点

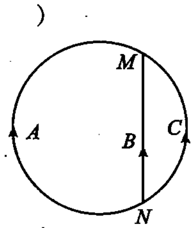
3. 一石块高出地面上方h处自由下落，当它的速度大小等于着地时速度的一半时，它距地面的高度为(　　)
   A. $\frac{1}{4}h$　　B. $\frac{1}{2}h$　　C. $\frac{3}{4}h$　　D. $\frac{3}{8}h$

4. 一质点向东做匀变速直线运动，其位移表达式为$s=10t-5t^2$，则(　　)

更多资料下载 关注微信公众号 学习第一线 赠送5000G学习大礼包

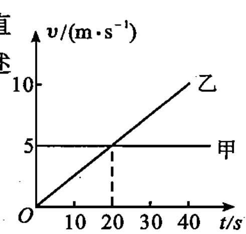
   A. 质点做匀减速直线运动
   B. 质点的加速度大小是$1m/s^2$
   C. 2s末的速度是零
   D. 12s的末质点在出发点西边，距出发点24m

5. 如右图所示是三个质点A、B、C的轨迹，三个质点同时从N点出发，同时到达M点，下列说法正确的是(　　)



   ①三质点从N到M的平均速度相同
   ②三质点从N到M的平均速率相同
   ③到达M点时A的瞬时速率最大
   ④从N到M过程中，A的平均速率最大
   A. ①④　　B. ①②
   C. ②④　　D. ①③

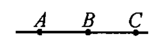
6. 甲、乙两物体由同一点沿同一方向做直线运动，其图象如右图所示，下列陈述不正确的是(　　)



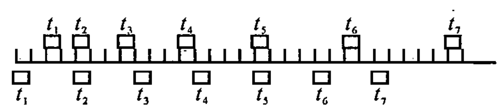
   A. 20s末两物体相遇
   B. 40s末两物体相遇
   C. 20s末两物体速度相同
   D. 30s末甲在乙的前面

7. 某同学身高1.8m，在运动会上，他参加跳高比赛中，起跳后采用背越式过1.8m高度的横杆，据此我们可估算出他起跳时竖起向上的速度大约为(取$g=10m/s^2$)
   A. 2m/s　　B. 4m/s　　C. 6m/s　　D. 8m/s

8. 在足够长的平直公路上，一辆汽车以加速度a起动时，有一辆匀速行驶的自行车以速度v_0从旁驶过，则
   ①汽车追不上自行车，因为汽车起动时速度小
   ②以汽车为参考系，自行车是向前做匀减速运动
   ③汽车与自行车之间的距离开始是不断增加的，直到两者速度相等，然后两者距离逐渐减小，直到两车相遇
   ④汽车追上自行车的时间是$\frac{2v_0}{a}$.
   以上说法中正确的是(　　)
   A. ①②③　　B. ②③④　　C. ①③④　　D. ①②④

9. 做匀加速直线运动的物体，依次通过A、B、C  三点，位移$s_{AB}=s_{BC}$，已知物体在AB段的平均速度大小为3m/s，在BC段的平均速度大小为6m/s，那么，物体在B点的即时速度的大小为(　　)
   A. 4m/s　　B. 4.5m/s
   C. 5m/s　　D. 5.5m/s

10. 两木块自左向右运动，现用高速摄影机在同一底片上多次曝光，记录下木块每次曝光时的位置，如图所示，连续两次曝光的时间间隔是相等的，由图可知
   A. 在时刻t_2以及时刻t_5两木块速度相同
   B. 在时刻t_3两木块速度相同
   C. 在时刻t_3和时刻t_4之间某瞬间时两木块速度相同
   D. 在时刻t_4和时刻t_5之间某瞬间时两木块速度相同



二、本题共6小题，每小题4分，共24分，把答案填在题中的横线上.

11. 质点从甲地向正东方向移动400m距离后到达乙地，再从乙地向正北方向移动300m的距离后到丙地，则质点从甲地运动到丙地通过的路程是________m，位移大小是________m，位移方向是________.

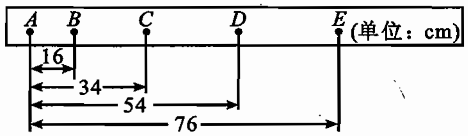
12. 一列火车由静止开始做匀加速直线运动，一个人站在第一节车厢前端旁的站台上观察，第一节车厢通过他历时2s，全部列车通过他历时6s，那么，这列火车共有________节车厢.

13. 一辆汽车关闭发动机后作匀减速直线运动到停止. 已知运动的前半程的平均速度为$\bar{v}_1$，则它后半程的平均速度$\bar{v}_2=$________.

14. 使用打点计时器时，纸带应穿过________，复写纸应套在________上，并要放在纸带的________面，应把________电源用导线接在________上，打点时应先________，再松开纸带.

15. 物体做匀加速直线运动，它在第 2s 内的位移为 3m，第 8s 内的位移为 12m，则它的加速度为________m/s^2，它在第 1s 末的速度为________m/s.

16. 利用打点计时器研究匀变速直线运动，随着小车的运动，打点计时器在纸带上打下一系列的点，取 A、B、C、D、E 五个计数点，在两个相邻的计数点中还有 4 个点没有画出. 测得的距离如图（单位为 cm），则小车的加速度为________m/s^2.



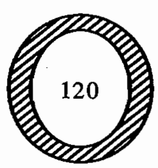
三、本题共 4 小题，共 56 分，解答应写出必要的文字说明、方程式和重要演算步骤，只写出最后答案的不能得分. 有数值计算的题，答案中必须明确写出数值和单位.

17. (14 分，2008·全国Ⅰ) 已知 O、A、B、C 为同一直线上的四点，AB 间的距离为 l_1，BC 间的距离为 l_2. 一物体自 O 点由静止出发，沿此直线做匀加速运动，依次经过 A、B、C 三点. 已知物体通过 AB 段与 BC 段所用的时间相等. 求 O 与 A 的距离.

更多资料干货 关注微信公众号 学习第一线 赠送5000G学习大礼包

18. (14 分) 某高速公路边交通警示牌有如右图所示标记，表示该路段汽车限速 120km/h.

(1) 该限速所指是瞬时速度不得超过 120km/h 还是平均速度不得超过 120km/h?



(2) 若车辆驾驶员看到前车刹车时也开始刹车的反应时间为 1s，假设车辆刹车加速度相同，安全距离是两车不相碰所必须保持的车距的 3 倍，求车辆行驶在这条公路上的安全距离.

19. (14 分) 一辆小轿车和一辆公共汽车沿互相垂直的两条马路向同一个十字路口行驶，小轿车离十字路口 16m，以初速度 2m/s、加速度 $1m/s^2$ 向着路口做匀加速直线运动. 公共汽车离十字路口 12m 时的瞬时速度是 6m/s，为避免碰车，公共汽车此时开始刹车让小轿车先通过路口，问公共汽车刹车的加速度应满足什么条件才能保证安全?

20. (14 分) 两个小球用一根细绳连接，某人站在高楼顶拿住一个球使之与楼顶同高，让另一个球自然悬垂，从静止释放后下落，某层楼内有一个人在室内用摄像机恰巧摄下了这两球及细绳通过窗口的过程，并从录像中发现细绳出现在窗口的时间为 1s，若该窗口高度为 2m，窗口上沿到楼顶高 18m. 试问两小球间细绳的长度为多少?



第二章 相互作用

难点巧学

一、利用"假设法"判断弹力的有无以及其方向

弹力是物体发生弹性形变时产生的,常规判断弹力的方法:a、找接触点或接触面;b、判断接触处有无挤压.在具体问题中利用"假设法"或者"撤离法"能迅速正确判断弹力的有无以及弹力的方向.

例 1 如图 1 所示,细绳竖直拉紧,小球和光滑斜面接触,两者均处于静止状态,则小球受到的力是(　　)

A. 重力、绳的拉力

B. 重力、绳的拉力、斜面的弹力

C. 重力、斜面的弹力

D. 绳的拉力、斜面的弹力

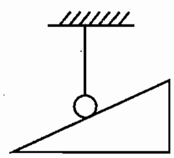


图 1

【巧解】 细绳竖直拉紧,利用"假设法"把三角形的斜面撤去,对小球受力情况是不影响的,所以小球与斜面间没有弹力.

【答案】 A

更多资料干货 关注微信公众号 学习第一线 赠送5000G学习大礼包

例 2 如图 2 所示,小车上固定着一根弯曲成 θ 角的曲杆,杆的另一端固定一个质量为 m 的球,试分析小车静止时,杆对球的弹力的大小和方向.

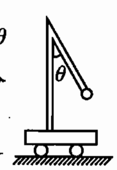


图 2

【巧解】 假设小球受到弹力方向是沿着杆的方向,那么小球就受到有水平分力,小球是不可能静止的不符合平衡条件,所以假设是不成立的.由平衡条件可判断小球的弹力方向竖直向上,大小等于重力.

二、利用动态分析法分析弹簧弹力

例 3 如图 3 所示,两块木块的质量分别为 m_1 和 m_2,两轻质弹簧的劲度系数分别为 k_1 和 k_2,上面木块压在上面的弹簧上(但不栓接),整个系统处于平衡状态,现缓慢向上提上面的木块,直到它刚离开上面弹簧,在这过程中,下面木块移动的距离为(　　)

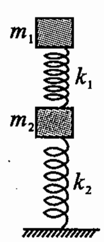


图 3

A. $\dfrac{m_1g}{k_1}$　　B. $\dfrac{m_2g}{k_2}$

C. $\dfrac{m_1g}{k_2}$　　D. $\dfrac{m_2g}{k_1}$

【巧解】 注意题中文字的隐含意义:"缓慢上提"指出木块 m_2 在上提过程中是一动态平衡,因此,当弹簧 k_1 达到原长时,m_2 上升达到最高点而处于静止状态,不会因惯性而继续上升,在初始状,对 k_2,有 $k_2x_1=(m_1+m_2)g$,即 $x_1=\dfrac{(m_1+m_2)g}{k_2}$;在末状态,对 k_2 有 $k_2x_2=m_2g$,可得 $x_2=\dfrac{m_2g}{k_2}$,因而,m_2 移动的距离为 $\Delta x=x_1-x_2=\dfrac{m_1g}{k_2}$,所以选 C.

三、静摩擦力方向判断

相对运动趋势不如相对运动直观,具有很强的隐蔽性,所以静摩擦力的方向判定比较困难,为此常用以下几种方法判断:

(1)"假设法";

(2)根据物体运动状态判断;

(3)利用"作用力与反作用力的关系"来判断;

(4)应用"毛刷"进行判断;

(5)"主动、从动轮"直接判断法.

例 4 如下图 4 所示,物体 A、B 在力 F 的作用下一起以相同速度沿 F 方向匀速运动,关于物体 A 所受的摩擦力,下列说法正确的是(　　)

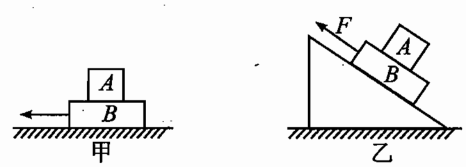


图 4

A. 甲、乙两图中 A 均受到摩擦力,且方向均与 F 相同

B. 甲、乙两图中 A 均受到摩擦力,且方向均与 F 相反

C. 甲、乙两图中 A 均不受到摩擦力

D. 甲图中 A 不受到摩擦力,乙图中 A 受到摩擦力,方向和 F 的方向相同

【巧解】 用假设法分析,甲图中,假设 A 受到摩擦力,与 A 做匀速运动在水平方向受力为零不符,所以 A 不受摩擦力的作用;乙图中,假设 A 不受摩擦力,A 将相对 B 沿斜面向下运动,从而 A 受沿 F 方向的摩擦力,正确答案应选 D.

四、力的合成与分解

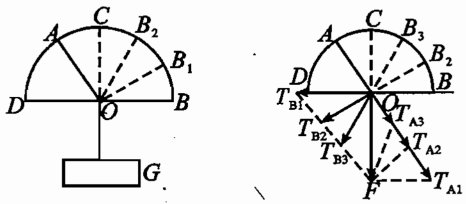
1. 基本法则:平行四边形法则.

说明:平行四边形法则是矢量加(减)法的通用法则,力作为一个矢量当然适用.力的合成与分解都遵循平行四边形定则,计算时首先要根据题目要求按照力的平行四边形定则作出力的合成或分解的图示,再根据数学知识解三角形求合力与分力,主要求解直角三角形问题,对于较简单的斜三角形问题,也应能利用

正弦定理、余弦定理或相似三角形的知识求解.

2. 对力进行分解常用两种方法:①按实际效果分解;②正交分解

例5　如图5甲所示,半圆形支架 BAD,两细绳 OA 和 OB 结于圆心 O,下悬重为 G 的物体,使 OA 绳固定不动,将 OB 绳的 B 端沿半侧支架从水平位置逐渐移至竖直位置 C 的过程中,分析 OA 和 OB 绳所受的力大小如何变化?



甲　　乙

图5

【巧解】　(应用平行四边形动态分析法)O 点受到向下拉力 F 是等于重力 G 的,根据它的作用效果,可将力 F 分解成两个方向:沿 AO 方向的力 T_A 和沿 BO 方向 T_B,在 B 点移动的过程中,绳子 OB 与竖直方向之间夹角从0°增大到90°,合力 F 大小、方向不变,分力 T_A 方向不变,由于 T_B 的方向变化导致 T_A 大小发生变化,如图乙所示,可见 T_B 由大变小,再由小变大,而 T_A 一直从大变小.

例6　如图6所示,三脚灯架的横梁 AO 在水平方向和绳子 BO 的夹角为30°,横梁重力忽略不计,若灯的重力为20N,求绳子 BO 所受的拉力和横梁 AO 所受的压力.

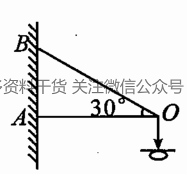


图6

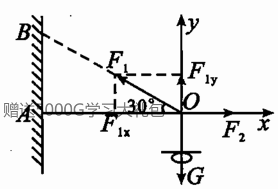


图7

更多资料干货 关注微信公众号 学习第一线 赠送1000G学习大礼包

【巧解】　应用正交分解法,以 O 点研究对象,该点受三个力作用如图7所示,建立坐标系,根据平衡条件得:$F_1\sin30° - G = 0$,$F_2 - F_1\cos30° = 0$,解方程可得:$F_1 = 40N$,$F_2 = 34.6N$

3. 已知合力确定分力的条件:应用平行四边形定则作图讨论.

①已知合力 F 和一个分力 F_1 的大小和方向求另一个分力的大小和方向(唯一解)如图8所示.

②已知合力和两个分力的方向,求两分力的大小(唯一解),如图9所示.

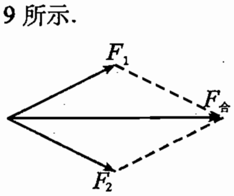


图8

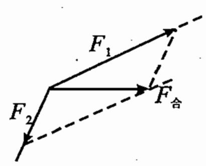


图9

③已知合力和两个分力的大小,求两个分力的方向(两解、一解、无解).

④已知合力和一个力的方向、另一个力的大小,求其他两个物理量(两解、一解、无解).

五、物体的受力分析

受力分析是整个力学的基础,也是研究力学问题的关键,在对物体进行受力分析时要讲究方法.一定要严格按照受力分析的步骤和顺序分析,以免添力和漏力.受力分析顺序如下:(1)先重力:作用点在重心(2)后弹力(3)再摩擦力(4)最后画其他场力.注意弹力和摩擦力都是接触力,接触可能存在但不一定都存在,为了防止漏力,所以和物体接触的点(面)都找一找.注意按顺时针或者逆时针观察一周,确保无误.

活题巧解

例1　下面图10中,静止的小球 m 分别与两个物体(或面)接触,设各接触面光滑,则 A 受到两个弹力的是(　　)

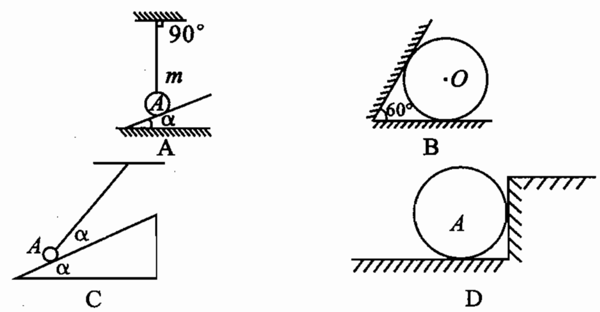


图10

【巧解】　假设法

由图可知四个小球都只有两个接触点,小球最多会受到两个弹力,但把图A、B、D的斜面撤离,小球 A 可保持静止状态,若把图 C 的斜面撤离,小球 A 不能保持静止会摆动.所以图 C 中的小球受两个弹力,故选C.

例2　(2004·广东、广西)用三根轻绳子将质量为 m 的物块悬挂在空中,如图11所示,已知绳 ac 和 bc 与竖直方向的夹角分别为30°和60°,则 ac 和 bc 绳中的拉力分别为(　　)

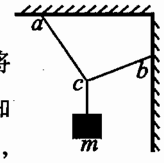


图11

A. $\frac{\sqrt{3}}{2}mg,\frac{1}{2}mg$　　B. $\frac{1}{2}mg,\frac{\sqrt{3}}{2}mg$

C. $\frac{\sqrt{3}}{4}mg,\frac{1}{2}mg$　　D. $\frac{1}{2}mg,\frac{\sqrt{3}}{4}mg$

【巧解】　矢量图解法

先分析受力情况,对于节点受三个力的作用,在这三个力作用下处于平衡状态,画出力的三角形如图12所示,由几何知识可得:$F_{ac} = mg\sin60°$,$F_{bc} = mg\sin30°$,故选项A是正确的.

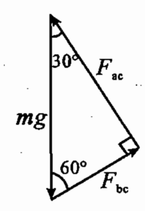


图12

例3　如图13所示的皮带传动装置中,O_1 是主动轮,O_2 是从动轮,A、B 分别是皮带上与两轮接触的点,C、D 分别是两轮边缘与皮带接触的点(为清楚起见,图中将两轮与皮带画得略为分开,实际上皮带与两轮紧密接触的),当 O_1 顺时针启动时,若皮带与两轮间不打滑,则 A、B、C、D 各点所受静摩擦力的方向分别是(　　)

A. 向上、向下、向下、向上

B. 向下、向上、向上、向下

C. 向上、向上、向下、向下

D. 向下、向下、向上、向上

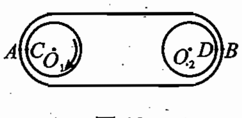


图 13

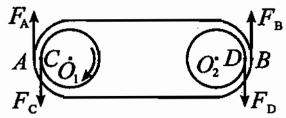


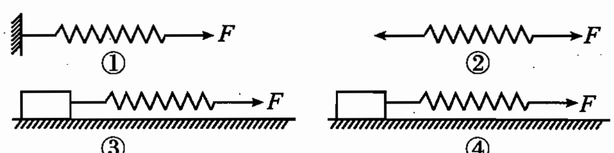
图 14

【巧解】 假设法

我们可设想物体在接触面处长有垂直于接触面的"毛刷"，两物体的"毛刷"交叉镶嵌，当主动轮 O_1 带动，皮带又带动从动轮转动时，C 点处的"毛刷"将向下偏，A 点处的"毛刷"将向上偏，B 点的"毛刷"将向上偏而 D 点处的"毛刷"将向下偏，各点所受的摩擦力的方向与"毛刷"偏向的方向一致.

【答案】 C

例 4 （2004·全国）如图 15 所示，四个完全相同的弹簧都处于水平位置，它们的右端受到大小皆为 F 的拉力作用，而左端的情况各不相同：①中弹簧的左端固定在墙上，②中弹簧的左端受大小也为 F 的拉力作用，③中弹簧的左端拴一小物块，物块在光滑的桌面上滑动，④中弹簧的左端拴一小物块，物块在有摩擦的桌面上滑动. 若认为弹簧的质量都为零，以 l_1、l_2、l_3、l_4 依次表示四个弹簧的伸长量，则有（　　）



更多资料干货 关注微信公众号 学习第一线 赠送5000G学习大礼包

图 15

A. $l_2 > l_1$　　B. $l_4 > l_3$　　C. $l_1 > l_3$　　D. $l_2 = l_4$

【巧解】 推理法

由于弹簧质量不计，所以四种情况下弹簧的伸长量只由力 F 决定，力 F 相同，则弹簧伸长量相同，所以 $l_1 = l_2 = l_3 = l_4$，故选 D.

例 5 （2004·上海）物体 B 放在物体 A 上，A、B 的上下表面均与斜面平行（如图 16），当两者以相同的初速度靠惯性沿光滑固定斜面 C 向上做匀减速运动时（　　）

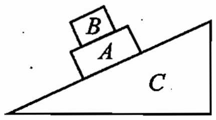


图 16

A. A 受到 B 的摩擦力沿斜面方向向上

B. A 受到 B 的摩擦力沿斜面方向向下

C. A、B 之间的摩擦力为零

D. A、B 之间是否存在摩擦力取决于 A、B 表面的性质

【巧解】 假设法

假设 B 物体受到 A 对 B 摩擦力方向沿斜面向上，由牛顿第三定律可得那么 B 对 A 摩擦力方向沿斜面向下，B 的加速度为 $g\sin\theta - f/m_B$，A 的加速度为 $g\sin\theta + f/m_A$，若 A、B 一起做匀减速运动，A 与 B 有共同加速度，所以 f 为 0，故选 C.

例 6 自行车以其轻便、廉价、环保等特点成为人们最常用的代步工具，给人们的生活带来了很大的方便，骑自行车时，车轮要受到地面施给它的摩擦力，当自行车在平直公路上行驶时，关于前轮和后轮所受的摩擦力，下列说法正确的是（　　）

A. 前轮所受摩擦力向后，后轮所受摩擦力向后

B. 前轮所受摩擦力向前，后轮所受摩擦力向前

C. 前轮所受摩擦力向后，后轮所受摩擦力向前

D. 前轮所受摩擦力向前，后轮所受摩擦力向后

【巧解】 类比法

杂技高手可以使前轮腾空，只靠后轮着地向前行驶，只要他一直踩踏板，车就会一直向前，甚至可以加速，可见地面对后轮的摩擦力是向前. 但是如果换成后轮腾空、前轮着地行驶，即使他一直踩踏板，自行车也会慢慢地停下，可见地面对前轮的摩擦力是向后. 故选 C 在这里要注意，因为踏板轴链条是与后轮轴连接的，所以有这两种不同情况.

【答案】 C

例 7 某压榨机的结构如图 17 所示，其中 B 为固定绞链，C 为质量可忽略不计的滑块，通过滑轮可沿光滑壁移动，D 为被压榨的物体. 当在铰链 A 处作用一垂直于壁的压力 F 时，依据牛顿第三定律，有物体 D 所受的压力等于________.

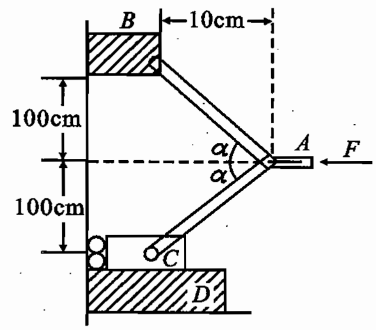


图 17

【巧解】 力的分解法

研究对象：铰链 A 和滑块 C。如图 18 所示，将 F 分解为沿两杆方向的 F_1 和 F_2，再将 F_1 分解为沿水平方向和竖直方向 F_{1x} 和 F_{1y}

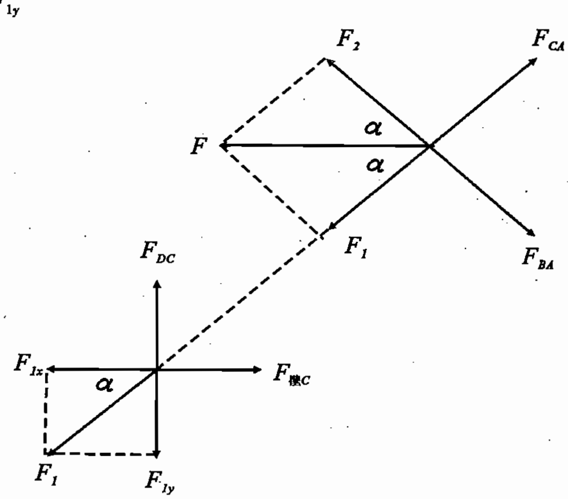


图 18

依据牛顿第三定律，物体 D 所受的压力大小为

$F_{CD} = F_{DC}$……①

因为滑块 C 处于平衡状态，有

$F_{DC} = F_{1y}$……②

由受力图可得

$F_{1y}=F_1\cdot\sin\alpha=\dfrac{F}{2\cos\alpha}\cdot\sin\alpha\cdots\cdots③$

联立①②③三式可得

$F_{CD}=\dfrac{F}{2}\cdot\tan\alpha=\dfrac{F}{2}\times10=5F.$

【答案】 5F.

例 8 质量为0.8kg的物块静止在倾角为30°的斜面上，若用平行于斜面沿水平方向大小等于3N的力推物块，物块仍保持静止，如图19所示，则物块所受到的摩擦力大小等于(　　)

A. 5N

B. 4N

C. 3N

D. $3\sqrt{3}$N

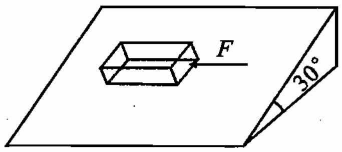


图 19

【巧解】 转换法　力的合成法

因为物块处于静止状态，所以物块所受合外力为零。不难发现，物块所受各力呈空间分布，解决空间力系问题的巧解方法是将空间力系转换为有实际意义的平面力系。本题我们只需作出位于斜面的平面力系，如图20所示。

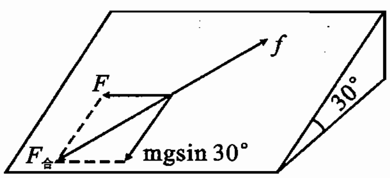


图 20

须知：静摩擦力f的方向与相对运动趋势方向相反。依据受力图可得$f=\sqrt{F^2+(mg\sin30°)^2}=5N.$

更多资料干货 关注微信公众号 学习第一线 赠送5000G学习大礼包

【答案】 A.

例 9 (2007上海卷)如图21所示，用两根细线把A、B两小球悬挂在天花板上的同一点O，并用第三根细线连接A、B两小球，然后用某个力F作用在小球A上，使三根细线均处于直线状态，且OB细线恰好沿竖直方向，两小球均处于静止状态。则该力可能为图中的(　　)

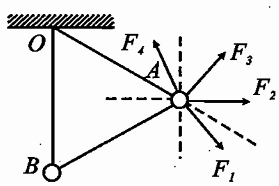


图 21

A. F_1　　B. F_2

C. F_3　　D. F_4

【巧解】 图解法。

由题意可知力F存在两个临界方向：①竖直向上；②无限趋近OA方向。故力F可能存在的区域限于∠YAX(不含AX方向)。

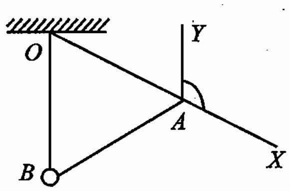


图 22

【答案】 BC.

例 10 (2010新课标全国卷)一根轻质弹簧一端固定，用大小为F_1的力压弹簧的另一端，平衡时长度为l_1；改用大小为F_2的力拉弹簧，平衡时长度为l_2。弹簧的拉伸或压缩均在弹性限度内，该弹簧的劲度系数为(　　)

A. $\dfrac{F_2-F_1}{l_2-l_1}$　　B. $\dfrac{F_2+F_1}{l_2+l_1}$

C. $\dfrac{F_2+F_1}{l_2-l_1}$　　D. $\dfrac{F_2-F_1}{l_2+l_1}$

【巧解】 解法1：和比定理法。

$$k=\frac{F_1}{l_0-l_1}=\frac{F_2}{l_2-l_0}=\frac{F_1+F_2}{(l_0-l_1)+(l_2-l_0)}$$

解法2：定性分析法。

假设$F_1=F_2$，此时A、D两项均为零，显然不正确；假设$l_1=l_2$(但这是不可能的，因为同一根弹簧压缩后绝不可能与拉伸后等长)，C项因为分母为零没有意义而B项有意义，显然C项即是答案.

【答案】 C.

例 11 (2011·上海模拟)如图是给墙壁粉刷涂料用的“涂料滚”的示意图23. 使用时，用撑竿推着粘有涂料的涂料滚沿墙壁上下缓缓滚动，把涂料均匀地粉刷到墙上. 撑竿的重量和墙壁的摩擦均不计，而且撑竿足够长，粉刷工人站在离墙壁一定距离处缓缓上推涂料滚，该过程中撑竿对涂料滚的推力将________，涂料滚对墙壁的压力将________. (填：“增大”、“减小”或“不变”)

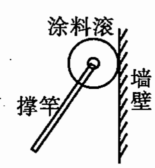


图 23

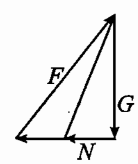


图 24

【巧解】 动态分析法

对涂料滚进行受力分析，它受到重力G、推力F、墙壁对涂料滚支持力N三个力的作用，由题可得三个力平衡，那么这三个力可以构成一个矢量三角形，工人缓缓上推涂料滚，说明F逆时针旋转，但这三个力处于动态平衡状态，三个力还是构成一个首尾相接三角形，F与N的变化关系如图24所示，由图可分析出F、N都是减少的.

【答案】 减少、减少

例 12 如图25所示，轻质弹簧连接A、B两物体，A放在水平地面上，B的上端通过细线挂在天花板上；已知A的重力为8N，B的重力为6N，弹簧弹力为4N. 则地面受到的压力大小和细线受到的拉力大小可能是(　　)

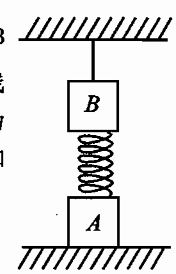


图 25

A. 18N 和 10N　　B. 4N 和 10N

C. 12N 和 2N　　D. 14N 和 2N

【巧解】 特征法

当弹簧处于拉伸状态时,B 项正确;当弹簧处于压缩状态时,C 项正确。

【答案】

【说明】 弹簧弹力的基本特征有二:其一、产生原因可能是弹簧处于拉伸状态,也可能是弹簧处于压缩状态;其二、在弹性限度范围内,弹力遵循胡克定律。

例 13 (2011 · 江苏模拟)如图 26 所示,在光滑水平面上,一个斜面体被两个固定在地面上的小桩 a 和 b 挡住,然后在斜面上放一物体,下列说法正确的是( )

A. 若物体加速下滑,则 b 受挤压

B. 若物体减速下滑,则 b 受挤压

C. 若物体匀速下滑,则 a 受挤压

D. 若物体静止在斜面上,则 a 受挤压

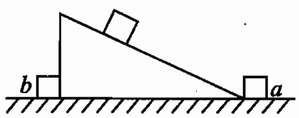


图 26

【巧解】 整体法 力的合成法

若物体匀速下滑和静止,物体和斜面是处于平衡状态,合力为零,故对 a、b 都不受到挤压. 若物体加速下滑,那么物体受到的合力方向偏向右方,根据牛顿第三定律,物体对斜面的作用力偏向左方,故 b 受挤压;同理减速下滑,那么物体受到的合力方向向左方,根据牛顿第三定律,物体对斜面的作用力偏向右方,应 a 受到挤压. 所以本题只有 A 答案正确.

例 14 (2011 · 广东模拟)两个共点力 F_1、F_2 互相垂直,其合力为 F,F_1 与 F 间的夹角为 α,F_2 与 F 间的夹角为 β,如图 27 所示. 若保持合力 F 的大小和方向均不变而改变 F_1 时,对于 F_2 的变化情况,以下判断正确的是( )

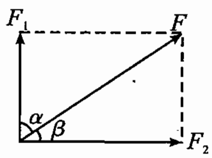


图 27

A. 若保持 α 不变而减小 F_1,则 β 变小,F_2 变大

B. 若保持 α 不变而减小 F_1,则 β 变大,F_2 变小

C. 若保持 F_1 的大小不变而减小 α,则 β 变大,F_2 变大

D. 若保持 F_1 的大小不变而减小 α,则 β 变小,F_2 变小

【巧解】 动态分析法

合力与分力符合平行四边形定则,把 F_1 与 F_2 变化关系如图 28 所示,当 α 不变而减小 F_1 变小时,F_2 是变大的,β 变小. 保持 F_1 的大小不变而减小 α 时,β 变小,F_2 变小的. 故选 A、D

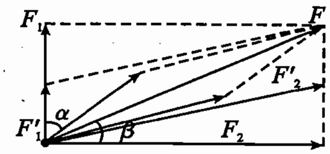


图 28

例 15 (2011 · 南通模拟)如图 29 所示,在动力小车上固定一直角硬杆 ABC,分别系在水平直杆 AB 两端的轻弹簧和细线将小球 P 悬吊起来. 轻弹簧的劲度系数为 k,小球 P 的质量为 m,当小车沿水平地面以加速度 a 向右运动而达到稳定状态时,轻弹簧保持竖直,而细线与杆的竖直部分的夹角为 θ,试求此时弹簧的形变量.

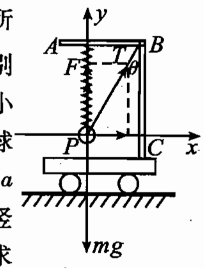


图 29

【巧解】 正交分解法 临界条件法

小球 P 受到重力 mg、绳子拉力 T 和弹簧弹力 F,列方程可得:$T\sin\theta = ma$,$T\cos\theta + F = mg$,$F = kx$,$x = m(g - a\cot\theta)/k$

讨论:①若 $a\cot\theta < g$,则弹簧伸长 $x = m(g - a\cot\theta)/k$,②若 $a\cot\theta = g$,则弹簧伸长 $x = 0$,③若 $a\cot\theta > g$,则弹簧压缩 $x = m(a\cot\theta - g)/k$

第二章　相互作用综合测试

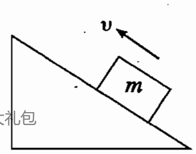
一、在每小题所给出的四个选项中，有的小题只有一个选项正确，有的小题有多个选项正确，全部选对的得 4 分，选项不全得 2 分，选错或不答得 0 分.

1. 下列有关重力的说法正确的是（　　）
A. 重力是物体的固有属性
B. 重力的方向总是指向地心
C. 重力的大小可以用天平测量
D. 重力是由于地球对物体的吸引而产生的力

2. 下列有关摩擦力的说法正确的是（　　）
A. 摩擦力的方向与物体运动方向相反
B. 摩擦力的大小一定与压力成正比
C. 摩擦力一定是阻力
D. 运动时物体可能受到静摩擦力

3. 将一个力分解为两个分力，合力与分力的关系是（　　）
A. 合力大小一定等于两分力大小之和
B. 合力大小可能比每个分力都大，也可能比每个分力都小
C. 合力的大小不可能小于每个分力的大小
D. 合力的大小可能比一个分力大，比另一个分力小

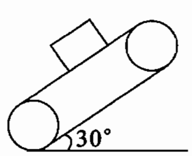
4. 一滑块获得一个沿斜面向上的速度后，沿粗糙斜面向上滑动，如图所示，在滑动过程中，物体 m 受到的力是（　　）



更多资料干货 关注微信公众号 学习第一线 赠送5000G学习大礼包

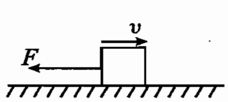
A. 重力，沿斜面向上的冲力，斜面的支持力
B. 重力，沿斜面向上的冲力，沿斜面向下的滑动摩擦力
C. 重力，沿斜面向下的滑动摩擦力，斜面的支持力
D. 重力，沿斜面向上的冲力，沿斜面向下的滑动摩擦力，斜面的支持力

5. 在一个倾角为 30°的传送带上放着一个物体，如图所示，物体受摩擦力的方向是沿传送带方向向上时（　　）



A. 物体与传送带都静止
B. 物体随传送带匀速向上运动
C. 物体随传送带匀速向下运动
D. 传送带以 6m/s 的速度向下运动，物体向下的速度为 4m/s

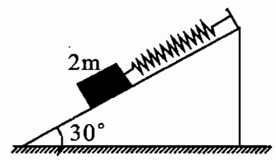
6. 如图所示，在 $\mu=0.1$ 的水平面上向右运动的物体，质量为 20kg，在运动过程中，还受到一个水平向左的大小为 10N 的拉力作用，则物体受到的摩擦力为（$g=10\text{N/kg}$）



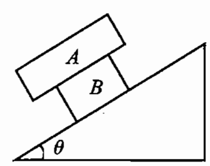
A. 10N，向右
B. 10N，向左
C. 20N，向右
D. 20N，向左

7. 一般大桥都有很长的引桥，其主要目的是（　　）
A. 减小摩擦力　　　　B. 减小正压力
C. 减小下滑分力　　　　D. 使桥型美观

8.（08 山东）用轻弹簧竖直悬挂质量为 m 的物体，静止时弹簧伸长量为 L，现用该弹簧沿斜面方向拉住质量为 2m 的物体，系统静止时弹簧伸长量也为 L，斜面倾角为 30°，如图所示，则物体所受摩擦力（　　）
A. 等于零
B. 大小为 $\frac{1}{2}$mg，方向沿斜面向下
C. 大小为 $\frac{\sqrt{3}}{2}$mg，方向沿斜面向上
D. 大小为 mg，方向沿斜面向上



9. 如图所示，A、B 两物体叠放在斜面上，处于静止状态，下列说法正确的是（　　）



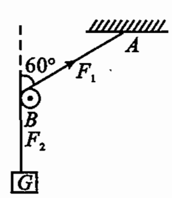
A. B 相对 A 的运动趋势方向沿斜面向上
B. 斜面相对 B 的运动趋势方向沿斜面向上
C. A 对 B 的静摩擦力的方向沿斜面向上
D. B 对斜面的静摩擦力方向沿斜面向上

二、本题共 6 小题，每小题 4 分，共 24 分，把答案填在题中的横线上.

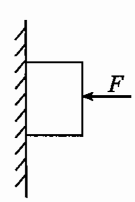
10. 如图所示，游标卡尺读出的数值是________cm.



11. 如图所示，绳子上端固定于 A，下端挂一重 120N 的重物，B 是光滑的木栓，则 F_1 和 F_2 的大小为________，夹角________. 因此木栓 B 所受的绳子对它的压力为________，方向和竖直方向成________.

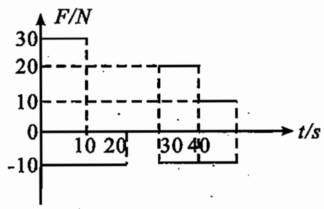


12. 如图所示，水平力 $F=100\text{N}$，木块的重力为 30N，沿着竖直墙壁匀速滑下，则木块与墙壁间的动摩擦因数为________，若水平力减小至 80N，木块所受的摩擦力的大小为________N，方向为________.

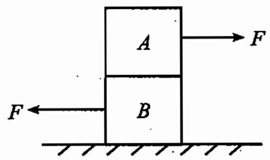


13. 质量为 10kg 的物体在水平面上自静止开始运动，其水平方

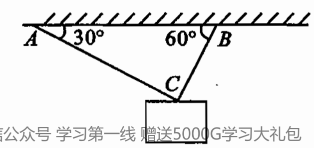
向受向东(取正方向)的力和向西的力随时间变化情况如图所示,则物体在0~10s所受合力为______,在10~20s合力为________,在30~40s合力为________,在40~50s合力为________N.



14. 如图所示,A、B两物体的重力都等于10N,各接触面间滑动摩擦因数都等于0.3,同时有$F=2N$的两个水平力分别作用于A和B上,方向如图所示,这时地面对物体B的摩擦力大小为________,物体B对物体A的摩擦力大小为________.



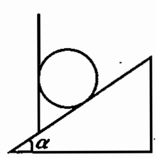
15. 用轻绳AC和BC悬挂一重物,绳与水平天花板间的夹角分别为30°和60°,如图所示,绳AC能承受的最大拉力为150N.绳BC能承受的最大拉力为100N,为了不使绳子被拉断,所悬挂的重物的重力的范围为________.



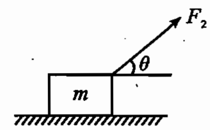
更多资料干货 关注微信公众号 学习第一线 赠送5000G学习大礼包

三、本题共4小题,共60分,解答应写出必要的文字说明、方程式和重要演算步骤,只写出最后答案的不能得分,有数值计算的题,答案中必须明确写出数值和单位.

16. (13分)在倾角为α的斜面上有一块竖直挡板,在挡板和斜面间有一重为G的光滑圆球,如图所示,试求这个球对挡板和斜面的压力.



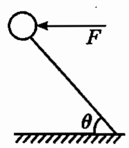
17. (14分)一木箱放在水平地面上,木箱质量为m;用水平推力F_1即可使物体做匀速直线运动,现改用与水平方向成θ角的斜向上的拉力去拉物体,也使它做匀速直线运动,如图所示,求这个拉力F_2多大?



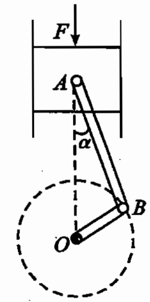
18. (17分)氢气球重力为10N,所受空气浮力为16N,由于受水平风力F作用,使系氢气球的绳子和地面成60°的角,求:

(1)绳子的拉力F_T.

(2)气球受到的水平风力F.



19. (16分)汽缸内的可燃性气体点燃后膨胀对活塞的推力$F=1100N$,连杆AB与竖直方向间夹角$\alpha=30°$,如图所示,求活塞对连杆AB的推力F_1和活塞对汽缸壁的压力F_2.



第三章

牛顿运动定律

难点巧学

一、有关弹簧问题中应用牛顿定律的解题技巧

有关弹簧的题目在高考中几乎年年都有，大都是应用牛顿定律来解决，做这样的题目学生往往感到比较难，思路不清，不知道从何下手，出错率比较高，下面我们来研究一下这类问题，总结一些解题技巧.

1. 弹簧长度改变，弹力发生变化的问题

物体在运动的过程中弹簧的长度随着变化，导致弹力也变化，弹力是变力.

例1　物体从某一高度自由落下，落在直立的轻弹簧上，如图1所示，在 A 点物体开始与弹簧接触，到 C 点是速度为零，然后被弹回，则下列说法正确的是(　　)

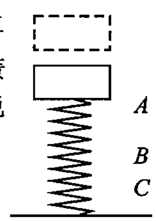


图1

A. 物体从 A 下降到 C 的过程中，速率不断变小

B. 物体从 C 上升到 A 的过程中，速率不断变大

C. 物体从 A 下降到 C，以及从 C 上升到 A 的过程中，速率都是先增大后减小

更多资料干货 关注微信公众号 学习第一线 赠送5000G学习大礼包

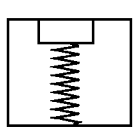
D. 物体在 C 点时，所受合力为零

【巧解】　当物体落在弹簧上时，物体受两个力：重力和弹力. 产生的加速率是 $a=\frac{F_{合}}{m}=\frac{mg-kx}{m}$，在物体下落的过程中，所受的重力不变，弹簧的劲度系数不变，随着物体的下落，弹簧形变 x 逐渐增加，当 $mg>kx$ 时（A 到 B 过程），$a>0$，即物体做加速度越来越小的加速运动：当 $mg=kx$ 时（B）点，$a=0$，物体速度最大：当 $mg<kx$ 时（B 到 C 过程），$a<0$，物体做加速度越来越大的减速运动，上升时也一样分析.

【答案】　C

2. 弹簧的长度不变，弹力不变的问题

例2　将金属块用压缩的轻弹簧卡在一个矩形的箱中，如图2所示，在箱的上顶板和下顶板安有压力传感器，箱可以沿竖直轨道运动，当箱静止时，上顶板的传感器显示的压力为6.0N，下顶板的传感器显示的压力为10.0N，取 $g=10\text{m/s}^2$，若上顶板传感器的示数是下顶板传感器的示数的一半，试判断箱的运动情况.


图2

【巧解】　由于静止时，上顶板的压力 $N_2=6\text{N}$，下顶板的压力 $N_1=10\text{N}$，由物体的平衡方程，得 $N_1=N_2+mg$，$m=0.4\text{kg}$

当上顶板的示数是下顶板的一半时，由于弹簧的长度没有变，所以下顶板的示数不变，还是10N，上顶板的示数就应是5N，由牛顿第二定律，得

$N_1-N_2'-mg=ma$

$a=\frac{N_1-N_2'-mg}{m}=\frac{(10-5-4)N}{0.4\text{kg}}=2.5\text{m/s}^2$

【答案】　箱子做加速度为 $a=2.5\text{m/s}^2$，向上的匀加速运动或者向下方向的匀减速运动.

3. 双弹簧问题

在一个题目中，如果有两个弹簧，物体将受到两个弹力，弹力的产生会有几种可能：两弹簧都拉伸；两个都压缩；一个被拉伸，一个被压缩，如果两个弹簧夹一个物体，当物体移动时，其中一个弹簧变长时，另一个弹簧将变短，即一个力增大的同时一个力减小，如果是同样的弹簧，则增大的值等于减小的值，要充分考虑到弹力的复杂性.

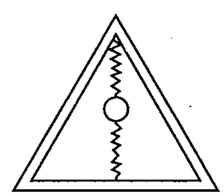
例3　如图3所示，静止在水平面上的三角架质量为 M，用质量不计的弹簧连接着质量为 m 的小球，小球上下振动，当三角架对水平面的压力为mg时，小球加速度的方向与大小分别是(　　)

A. 向上，Mg/m

B. 向下，Mg/m

C. 向上，$(M+m)g$

D. 向下，$(M+m)g/m$


图3

【巧解】　隔离法　整体法

当三角架对水平面的压力为mg时，由牛顿第三定律知水平面对三角架的支持力大小mg，方向竖直向上。再以三角架和小球整体为研究对象，由牛顿第二定律得：$(M+m)g-mg=ma$，所以 $a=Mg/m$，方向竖直向下。故B正确。

【答案】　B

4. 瞬时问题

在讨论有关弹簧的瞬间问题时，要注意到这一瞬间，弹簧的长度不变的，弹力的大小和方向都不变，这一点是与刚性绳、刚性面的最大区别.

例4　如图4所示，一质量为 m 的物体系于长度分别为 L_1、L_2 的两根细线上，L_1 的一端悬挂在天花板上，与竖直方向夹角为 θ，L_2 水平拉直，物体处于平衡状态. 现将 L_2 线剪断，求剪断瞬时物体的加速度.

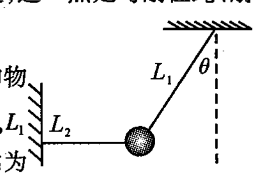


图4

(1)下面是某同学对该题的一种解法：

分析与解：设 L_1 线上拉力为 T_1，L_2 线上拉力为 T_2，重力为 mg，物体在三力作用下保持平衡，有

$T_1\cos\theta=mg$，$T_1\sin\theta=T_2$，$T_2=mg\tan\theta$

剪断线的瞬间，T_2 突然消失，物体即在 T_2 反方向获得加速度. 因为 $mg\tan\theta=ma$，所以加速度 $a=g\tan\theta$，方向在 T_2 反方向.

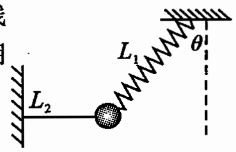


图5

你认为这个结果正确吗？请对该解法作出评价并说明理由.

(2)若将图4中的细线 L_1 改为长度相同、质量不计的轻弹簧，如图5所示，其他条件不变，求解的步骤和结果与(1)完全相同，即 $a=g\tan\theta$，你认为这个结果正确吗？请说明理由.

【巧解】 (1)这个结果是错误的. 当 L_2 被剪断的瞬间，因 T_2 突然消失，而引起 L_1 上的张力发生突变，使物体的受力情况改变，瞬时加速度沿垂直 L_1 斜向下方，为 $a=g\sin\theta$.

(2)这个结果是正确的. 当 L_2 被剪断时，T_2 突然消失，而弹簧还来不及形变(变化要有一个过程，不能突变)，因而弹簧的弹力 T_1 不变，它与重力的合力与 T_2 是一对平衡力，等值反向，所以 L_2 剪断时的瞬时加速度为 $a=g\tan\theta$，方向在 T_2 的反方向上.

例5 如图6，一根轻质弹簧上端固定，下端挂着一质量为 m_1 的平盘，盘中放有质量 m_2 的物体，当盘静止时弹簧伸长了 L. 今向下拉盘，使弹簧再伸长 ΔL 后停止，然后松手放开. 则刚松手时盘对物体的支持力多大？

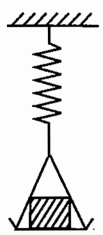


图6

【巧解】 设弹簧劲度系数为 k，未用手向下拉时，盘和重物这个整体处于三力平衡状态，故有

$kL=(m_1+m_2)g$，$k=(m_1+m_2)g/L$

向下拉盘后，到松手之前，盘和重物受到向下的重力 $(m_1+m_2)g$、手向下的拉力、弹簧向上拉力 $k(L+\Delta L)$ 这三个力作用而平衡，若突然撤去力 F，由于弹簧的弹力在此瞬间尚未变化，所以此瞬时盘和物体受到的合外力为：

$F_{合}=k(L+\Delta L)-(m_1+m_2)g=k\Delta L$，方向向上.

$a=F_{合}/(m_1+m_2)=k\Delta L/(m_1+m_2)=\dfrac{\Delta L}{L}g$

再单独考虑盘中重物，此瞬时它的加速度也就是上式的数值，对它来说. 加速度是在重力 m_2g 和此时盘对它的支持力 N 作用下产生的. $N-m_2g=m_2a$

将 a 的数值代入，即得 $N=m_2g+m_2a=m_2g(1+\Delta L/L)$

【答案】 $N=m_2g+m_2a=m_2g(1+\Delta L/L)$

二、连接体问题分析策略——整体法与隔离法

连接体是指存在相互作用、联系紧密的两个物体或物体群. 求解连接体问题时，我们分析处理的对象增加了，涉及到的物理量的个数增加了，求解的难度也增加了.

处理连接体问题的基本原则是隔离分析法和整体分析法. 首先要按合理的顺序逐一、独立地分析每一个隔离体或整体的受力情况、运动情况，然后再寻找各隔离体之间或隔离体与整体之间的联系(相同的物理量或相关的物理量)，最后依次求解或联立求解.

例6 如图7，质量为2m的物块 A 与水平地面的摩擦可忽略不计，质量为 m 的物块 B 与地面的动摩擦因数为 μ，在已知水平推力 F 的作用下，A、B 做加速运动，A 对 B 的作用力为________.

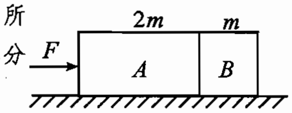


图7

【巧解】 此题是连接体问题，所用的解题方法为隔离分析法和整体分析法.

先整体分析：A 和 B 在水平方向上受到了 F 和 B 的摩擦力，由牛顿第二定律知

$F-\mu mg=(2m+m)a$

则 A 和 B 的加速度为 $a=\dfrac{F-\mu mg}{3mg}$

后对 A 隔离分析：A 受到了 F 力和 B 对 A 的作用力，则有，$F-F_{BA}=2ma$

故由上分析可知：$F_{BA}=(F+2\mu mg)/3$

【答案】 $F_{BA}=(F+2\mu mg)/3$

例7 如图8，光滑斜面的倾角为30°，顶端离地0.2m高. 质量相等的 A、B 两小球用细绳绕过定滑轮相连接. 现让 B 球无初速地从顶端下落. 试求：(1)B 球落地时的速度多大？(2)A 球一共能沿斜面向上运动多远？(g 取 $10m/s^2$).

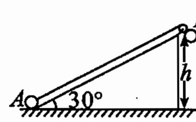


图8

【巧解】 此题是连接体问题. 我们先了解一下它们的运动过程：松手后，B 球加速下落，并带动 A 球沿斜面加速上升，在 B 落地前，A、B 加速度的大小、速度的大小都是相同的. B 落地后不再运动了，A 球的受力和运动过程将发生变化，在失去了绳拉力作用后，它将沿斜面减速上升.

在 B 落地前，B 球只受重力 mg 和绳拉力 T 的作用，A 球在运动方向上只受重力沿斜面向下的分力 $mg\sin30°$ 和绳拉力 T 的作用(因斜面光滑，故此题可不必列出斜面支持力和重力的另一个分力的关系式).

对 B：$mg-T=ma$……………………(1)

对 A：$T-mg\sin30°=ma$…………(2)

将(1)(2)联立可得：

$a=(mg-mg\sin30°)/2m=2.5m/s^2$

B 落地时，$S_A=S_B=h$，故：

$V_A^2=2ah$，$V_A=1m/s$

B 落地后，A 球由于惯性仍要向上运动，细绳将松弛，拉力为零，在运动方向上 A 球只受向下 $mg\sin30°$ 作用，故：

$-mg\sin30°=ma'$，$a'=-g\sin30°=-5m/s^2$

A 运动到最高点 $V_t=0$，则

$0-V_A^2=2a'S_2$，$S_2=0.1m$

A 球在前后两过程中运动的总距离 $S=S_1+S_2=0.3m$

【答案】 (1)B 球落地时的速度 $V_A=1m/s$ (2)A 球一共能沿斜面向上运动0.3m.

活题巧解

例1 八个完全相同、质量均为 m 的物体并排置于光滑的水平面上，在水平向右的推力 F 作用下一起向右作直线运动. 求第5个物体对第6个物体的作用力 N（见图9）.

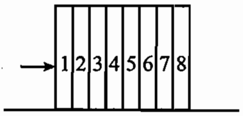


图9

【巧解】 整体法　隔离法

以整体为对象，设整体的加速度为 a，根据牛顿第二定律有：

$F=8ma$ (1)

再以后三个物体为研究对象，根据牛顿第二定律有：

$N=3ma$ (2)

解(1)(2)式得：$N=3F/8$

【答案】 3F/8

例2 如图10所示，电梯与水平面夹角为30°，当电梯加速向上运动时，人对梯面压力是其重力的6/5，则人与梯面间的摩擦力是其重力的多少倍？

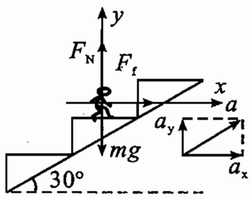


图10

【巧解】 正交分解法

对人受力分析，他受到重力 mg、支持力 F_N 和摩擦力 F_f 作用，如图10所示. 取水平向右为 x 轴正向，竖直向上为 y 轴正向，此时只需分解加速度，据牛顿第二定律可得：

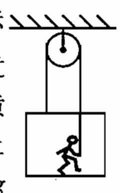
$F_f=ma\cos30°$，$F_N-mg=ma\sin30°$

因为 $\frac{F_N}{mg}=\frac{6}{5}$，解得 $\frac{F_f}{mg}=\frac{\sqrt{3}}{5}$

更多资料干货 关注微信公众号 学习第一线 赠送5000G学习大礼包

【答案】 $\frac{\sqrt{3}}{5}$

例3 一人在井下站在吊台上，用如图11所示的定滑轮装置拉绳把吊台和自己提升上来. 图中跨过滑轮的两段绳都认为是竖直的且不计摩擦. 吊台的质量 $m=15kg$，人的质量为 $M=55kg$，起动时吊台向上的加速度是 $a=0.2m/s^2$，求这时人对吊台的压力.（$g=9.8m/s^2$）


图11

【巧解】 整体法　隔离法

选人和吊台组成的系统作为整体，受力如图12所示，F 为绳的拉力，由牛顿第二定律有：$2F-(m+M)g=(M+m)a$

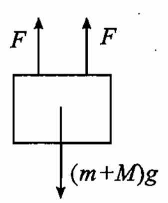


图12

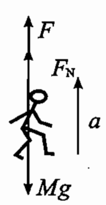


图13

则拉力大小为：$F=\frac{(M+m)(a+g)}{2}=350N$

再隔离人为研究对象，受力情况如图13所示，其中 F_N 是吊台对人的支持力. 由牛顿第二定律得：$F+F_N-Mg=Ma$，故 $F_N=M(a+g)-F=200N$

由牛顿第三定律知，人对吊台的压力与吊台对人的支持力大小相等，方向相反，因此人对吊台的压力大小为200N，方向竖直向下.

【答案】 人对吊台的压力大小为200N，方向竖直向下.

例4 （2010福建卷）质量为2kg的物体静止在足够大的水平地面上，物体与地面间的动摩擦因数为0.2，最大静摩擦力与滑动摩擦力大小视为相等。从 $t=0$ 时刻开始，物体受到方向不变、大小呈周期性变化的水平拉力 F 的作用，F 随时间 t 的变化规律如图14所示。重力加速度 g 取 $10\ m/s^2$，则物体在 $t=0$ 到 $t=12s$ 这段时间的位移大小为(　　)

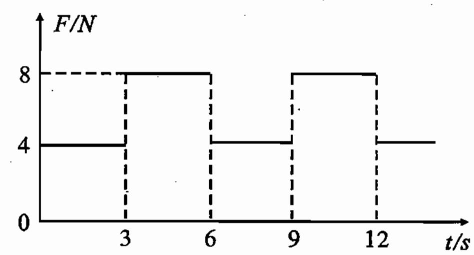


图14

A. 18m　　B. 54m　　C. 72m　　D. 198m

【巧解】 图像转换法

将 $F-t$ 图转换为 $v-t$ 图，如图15所示。

物体在 $t=0$ 到 $t=12s$ 这段时间的位移大小为 $v-t$ 图中阴影部分的面积。

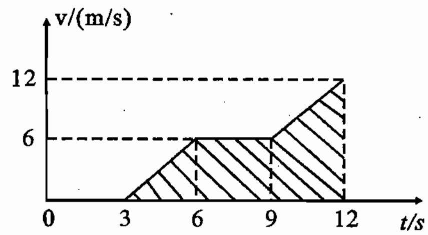


图15

【答案】 B.

【说明】 F－t图的面积表示F的冲量；F－x图的面积表示F的功；I－t图的面积表示电量；U－I图的面积表示功率等，我们在这里不完全地列举了高中物理直角坐标图像中涉及到的面积问题，旨在抛砖引玉。须知：唯有勤于思考、善于归纳，方能实现触类旁通。

例5 如图16所示，质量为4kg的物体静止于水平面上，物体与水平面间的动摩擦因数为0.5，物体受到大小为20N，与水平方向成30°角斜向上的拉力 F 作用时沿水平面做匀加速运动，求物体的加速度是多大？（g 取 $10m/s^2$）

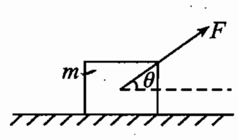


图16

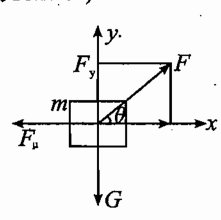


图17

【巧解】 正交分解法

以物体为研究对象，其受力情况如图17所示，建立平面直角坐

标系把 F 沿两坐标轴方向分解,则两坐标轴上的合力分别为

$F_x = F\cos\theta - F_\mu$

$F_y = F_N + F\sin\theta - G$

物体沿水平方向加速运动,设加速度为 a,则 x 轴方向上的加速度 $a_x = a$,y 轴方向上物体没有运动,故 $a_y = 0$,由牛顿第二定律得 $F_x = ma_x = ma$,$F_y = ma_y = 0$

所以 $F\cos\theta - F_\mu = ma$,$F_N + F\sin\theta - G = 0$

又有滑动摩擦力 $F_\mu = \mu F_N$

以上三式代入数据可解得物体的加速度 $a = 0.58\text{m/s}^2$.

【答案】 物体的加速度是 0.58m/s^2.

例6 如图 18 所示,小框架的质量为 M,中间支柱上套有一质量为 m 的滑环,今使滑环以初速 v_0 竖直抛出,致使整个框架恰好对地面没有作用力,滑环上升的加速度多大?

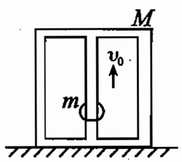


图 18

【巧解】 整体法

取小框架和环组成的整体为研究对象,摩擦力 f 为内力,在合外力 $(M+m)g$ 的作用下,小框架的加速度为零,环的加速度为 a,所以有

$(M+m)g = ma$

解得 $a = \dfrac{M+m}{m}g$

【答案】 $\dfrac{M+m}{m}g$

例7 如图 19 所示,物体沿图中三条光滑的轨道从 A 点由静止运动到 B 点,如果沿轨道①的运动时间为 t_1,沿轨道②的运动时间为 t_2,沿轨道③的运动时间为 t_3,则关于 t_1,t_2,t_3 的关系正确的是(　　)

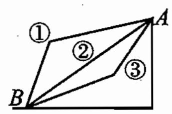


图 19

A. $t_1 = t_2 = t_3$　　　B. $t_1 > t_2 > t_3$

C. $t_1 < t_2 < t_3$　　　D. 无法确定

【巧解】 图象法

根据题意可知,物体沿三个轨道运动时尽管路径不同,但三次到达 B 点时的速率相同,三次运动的位移相同,因此三次所做的速率——时间图象中图线与坐标轴所包围的"面积"相等,于是得速率——时间图象如图 20 所示,由图象有 $t_1 > t_2 > t_3$ 即选项 B 正确.

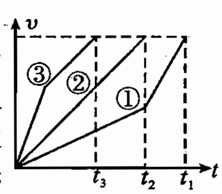


图 20

【答案】 B

例8 如图 21,A、B、C 三物体的质量分别是 m_1、m_2、m_3,带有滑轮的 C 放在光滑的水平面上,不计一切摩擦,为使三物体无相对运动,试求水平推力 F 的大小.

【巧解】 隔离法 整体法

求解此题的关键就是要依次确定好研究对象.根据题意中提供的"三物体无相对运动"这一线索,可先选择 B 作为突破口,对 B 隔离分析可知受三个力作用:

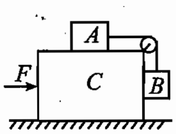


图 21

向下的重力 m_2g,绳向上的拉力 T,C 对它向右的推力 N,因 B 在竖直方向无相对运动,故有

$T - m_2g = 0$,$T = m_2g$

对 A 隔离分析可知,A 也受到绳拉力 T 的作用,它的加速度就是这个拉力产生的,故有:$T = m_1a$,$a = T/m_1 = m_2g/m_1$

最后,我们把 A、B、C 这个整体分析可知,上式求得的 a 的加速度也就是这个整体共同的加速度,它是由推力 F 产生的,即得:

$F = (m_1 + m_2 + m_3)m_2g/m_1$

【答案】 $F = (m_1 + m_2 + m_3)m_2g/m_1$

例9 如图 22 所示,倾角为 30°的斜面上叠放着 A、B 两个物体,且 A、B 接触面水平,若 A 物体的质量为 5kg,A、B 一起以 2m/s^2 的加速度沿斜面下滑,求下滑过程中 A 受到的支持力和摩擦力各多大.(取 $g = 10\text{m/s}^2$)

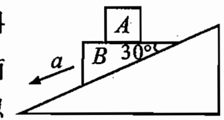


图 22

【巧解】 加速度分解法

对 A 进行受力分析,画出受力分析图如图 23 规定水平向左为 x 轴的正向,竖直向下为 y 轴的正向

将 a 分解为水平分加速度 a_x 和竖直分加速度 a_y

对水平和竖直方向分别列牛顿第二定律表达式,即:

水平方向:$f = ma\cos30°$

$= 5 \times 2 \times 0.866N = 8.66N$

竖直方向　$mg - N = ma\sin30°$

$\therefore N = mg - ma\sin30°$

$= 5 \times 10\text{N} - 5 \times 2 \times 0.5\text{N}$

$= 45\text{N}$

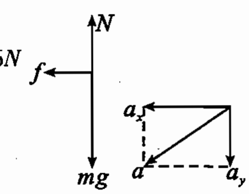


图 23

【答案】 支持力为 45N,摩擦力为 8.66N

例10 如图 24,一半径为 R、质量 m 的光滑小球恰好能放在一质量 M 的光滑的圆弧槽中,球半径 OA 与水平方向夹角为 θ,现用一水平力拉槽,使它在摩擦因数为 μ 的水平面上运动,为保证球不离槽,F 的最大值不能超过多大?

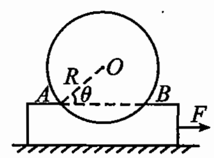


图 24

【巧解】 临界条件法

球受到的力只有两个:一个是向下的重力 mg,另一个是槽的支持力 N,在球随槽在水平方向做加速运动的过程中,N 的大小将随 a 的大小而变化,N 的作用点必将偏向左侧,方向指向球心,就一般情况而言,我们可列出:

$N\cos\alpha = ma$

$N\sin\alpha - mg = 0$

上式中的 α 是 N 与水平方向的夹角,解此方程组可得:

$a = g\text{ctg}\alpha$

从此式我们可发现,随着加速度 a 的不断增大,α 角将不断减小,N 的作用点也将不断左移.当移到 a 点时,$\alpha = \theta$,α 角最小,这时的加速度就是球不离槽的最大加速度.即

$a_{max} = g\text{ctg}\theta$

若槽的加速度超过这个数值，则球就不能与槽同步做加速运动，它将要以 A 为支点翻转而脱离槽了. 所以此题的临界状态就是槽对球的支持力的作用点移到了 A，球的加速度（也就是整体的加速度）为 $g\text{ctg}\theta$ 的状态. 经过这样分析，我们就不难求得 F 的最大值了.

以整体为研究对象，它在水平方向上受到推力和地面摩擦力的作用，故有：

$F-\mu(m+M)g=(m+M)a$，将 a_{max} 的数值代入，即得：

$F\leqslant(m+M)(\mu+\text{ctg}\theta)g$

【答案】 $F\leqslant(m+M)(\mu+\text{ctg}\theta)g$

例11 质量为 m 的物体放在 A 处的地平面上，用竖直向上的力 F 拉物体，物体的加速度 a 与拉力 F 的关系图如图25中 A 所示，质量为 m' 的另一物体在 B 地做类似实验，得 $a-F$ 的关系如图25所示，A、B 两线的延长线交 Oa 轴于同一点，设两地的重力加速度分别为 g 和 g'，由图可知

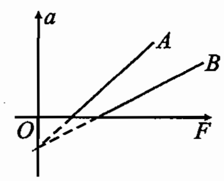


图25

A. $g'<g$　　　　B. $m'<m$

C. $g'=g$　　　　D. $m'>m$

【巧解】 图象法

当 A、B 仅受重力时，加速度相同，故 $g'=g$，而 $a-F$ 图上的斜率为物体质量的倒数，故 $m'>m$

【答案】 C　D

例12 如图26所示，沿水平方向做匀变速直线运动的车厢中，悬挂小球的悬线偏离竖直方向37°角，球和车厢相对静止，球的质量为1kg，($g=10\text{m/s}^2$，$\sin37°=0.6$，$\cos37°=0.8$)

更多资料干货 关注微信公众号 学习第一线 赠送5000G学习大礼包

(1)求车厢运动的加速度并说明车厢的运动情况.

(2)求悬线对球的拉力.

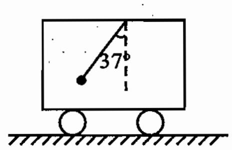


图26

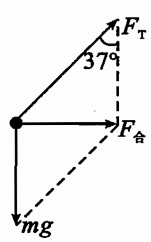


图27

【巧解】 力的合成法

(1)球和车厢相对静止，它们的运动情况相同，由于对球的受力情况知道的较多，故应以球为研究对象，球受两个力作用：重力 mg 和线的拉力 F_T，由球随车一起沿水平方向做匀变速直线运动，故其加速度沿水平方向，合外力沿水平方向，做出平行四边形如图27所示. 球所受的合外力为

$F_{合}=mg\tan37°$

由牛顿第二定律 $F_{合}=ma$ 可求得球的加速度为

$a=\dfrac{F_{合}}{m}=g\tan37°=7.5\text{m/s}^2$

加速度方向水平向右.

车厢可能水平向右做匀加速直线运动，也可能水平向左做匀减速直线运动.

(2)由图27可得，线对球的拉力大小为

$F_T=\dfrac{mg}{\cos37°}=\dfrac{1\times10}{0.8}N=12.5N$

【答案】 (1) $a=7.5\text{m/s}^2$，车厢可能水平向右做匀加速直线运动，也可能水平向左做匀减速直线运动

(2)线对球的拉力大小为12.5N

例13 一个质量为0.2kg的小球用细线吊在倾角 $\theta=53°$ 的斜面上，如图28，斜面静止时，球紧靠在斜面上，绳与斜面平行，不计摩擦，当斜面以 10m/s^2 的加速度向右做加速运动时，求绳的拉力及斜面对小球的弹力.

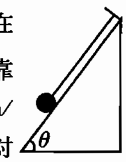


图28

【巧解】 临界条件法

当加速度 a 较小时，小球与斜面体一起运动，此时小球受重力、绳拉力和斜面的支持力作用，绳平行于斜面，当加速度 a 足够大时，小球将"飞离"斜面，此时小球受重力和绳的拉力作用，绳与水平方向的夹角未知，题目中要求 $a=10\text{m/s}^2$ 时绳的拉力及斜面的支持力，必须先求出小球离开斜面的临界加速度 a_0.（此时，小球所受斜面支持力恰好为零）

由 $mg\cot\theta=ma_0$

所以 $a_0=g\cot\theta=7.5\text{m/s}^2$

因为 $a=10\text{m/s}^2>a_0$

所以小球离开斜面 $N=0$，小球受力情况如图29，则

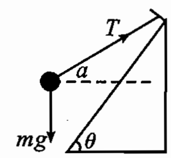


图29

$T\cos\alpha=ma$，$T\sin\alpha=mg$

所以 $T=\sqrt{(ma)^2+(mg)^2}=2.83\text{N}$，$N=0$.

【答案】 $T=\sqrt{(ma)^2+(mg)^2}=2.83\text{N}$，$N=0$.

例14 把一根长为 L 的光滑钢丝均匀地绕成一个高为 h 的弹簧，现把弹簧竖直地固定在地面上，让一个小环穿在钢丝上，并使其由静止开始下滑，假设整个过程中，弹簧的形变可以忽略，求环下滑过程所用的时间？

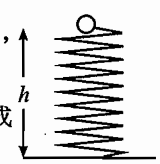


图30

【巧解】 转化法

由题意可知，可将图30中弹簧拉直，转化成31图的形状，则小环在弹簧上滑下就等效成小环在高为 h，斜面长为 L 的斜面上运动.

$L=\dfrac{1}{2}at^2$

$a=g\sin\theta$

$\sin\theta=\dfrac{h}{L}$

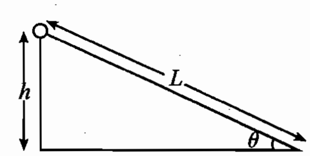


图31

由上两式可得　$t=\sqrt{\dfrac{2L^2}{gh}}$

【答案】 $t=L\sqrt{\dfrac{2}{gh}}$

例15 如图32所示，质量 m 的物体，用轻绳通过滑轮与小车

相连，当小车沿水平方向匀速行驶时，绳对物体的拉力(　　)

A. 总大于 mg

B. 总小于 mg

C. 总等于 mg

D. 由大于 mg 变为小于 mg

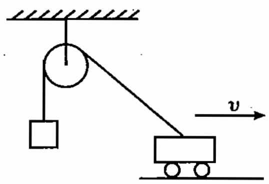


图 32

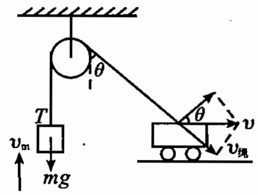


图 33

【巧解】 速度分解法

把小车的速度分解如图 33，设此时绳子与竖直方向夹角为 θ，则 $v_m = v_{绳} = v\sin\theta$

小车向右匀速运动，物体 m 向上运动，且 v_m 随 θ 的增大而增大，即 m 向上加速运动，则由牛顿第二定律可知：$T > mg$，故选 A.

【答案】 A

例 16　将一玻璃瓶装水后密闭，放在水平桌面上，在瓶的中部有一小气泡处于静止状态，如图 34 所示，现突然用力将瓶子向前推动一下，则看到气泡相对于瓶子的运动情况是(　　)



图 34

A. 不动　　B. 向前

C. 向后　　D. 无法确定

【巧解】 转化法　假设法

更多资料下载,关注微信公众号 学习第一线 赠送5000G学习大礼包

假设气泡处为同体积的水，质量为 $\Delta m_{水}$，推动瓶子时，$\Delta m_{水}$ 具有与瓶子一样的加速度 a_1，$\Delta m_{水}$ 受的合外力 $\sum F = \Delta m_{水} a_1$，气泡与 $\Delta m_{水}$ 比较，具有相同的 $\sum F$，但 $m_{气} < \Delta m_{水}$，所以同体积的气泡的加速度 $a_2 > a_1$，因此 B 正确.

【答案】 B

例 17　如图 35 所示，两个物体 A 和 B 质量分别是 m_1，m_2，用一根轻杆连接，它们与斜面间的动摩擦因数分别为 μ_1 和 μ_2，当它们沿斜面加速下滑时，杆的受力情况是(　　)

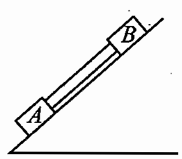


图 35

A. 若 $\mu_1 > \mu_2$，则杆受压力

B. 若 $\mu_1 = \mu_2$，$m_1 < m_2$，则杆受压力

C. 若 $\mu_1 = \mu_2$，，$m_1 > m_2$，则杆受压力

D. 只要 $\mu_1 = \mu_2$，则杆两端既不受拉力也无压力

【巧解】 假设法

假设 A、B 间不存在轻杆，则 A、B 各自单独沿斜面下滑的加速度分别为：

$a_1 = g(\sin\theta - \mu_1\cos\theta)$

$a_2 = g(\sin\theta - \mu_2\cos\theta)$

若 $\mu_1 > \mu_2$，$a_1 < a_2$，轻杆被挤压，杆受压力；

若 $\mu_1 = \mu_2$，$a_1 = a_2$，轻杆无形变，无弹力；

若 $\mu_1 < \mu_2$，$a_1 > a_2$，轻杆被拉伸，杆受拉力；

【答案】 A、D

例 18　如图 36 所示，倾角为 θ 的斜面固定在升降机上，质量为 m 的物体静止在斜面上；当升降机以加速度 a 竖直向上做加速运动时，物体保持与斜面相对静止，则此时物体受到的支持力和摩擦力分别是________和________.

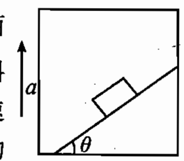


图 36

【巧解】 加速度分解法

当升降机以加速度 a 竖直向上加速时，物体 m 也具有相同的加速度，将 a 沿平行斜面向上和垂直斜面向上两个方向进行正交分解如图 37 所示，得

$a_1 = a\sin\theta$　$a_2 = a\cos\theta$

由牛顿第二定律可知：

$F_\mu - mg\sin\theta = ma_1$

所以 $F_\mu = ma_1 + mg\sin\theta = m(g+a)\sin\theta$

$F_N - mg\cos\theta = ma_2$

所以 $F_N = ma_2 + mg\cos\theta = m(g+a)\cos\theta$

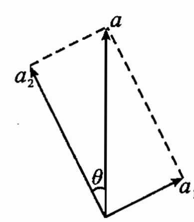


图 37

【答案】 $m(g+a)\cos\theta$　$m(g+a)\sin\theta$

第三章　牛顿运动定律综合测试

一、本题共 10 小题,每小题 4 分,共 40 分,在每小题给出的四个选项中,有的小题只有一个选项正确,有的小题有多个选项正确. 全部选对得 4 分,选不全的得 2 分,有选错或不答的得 0 分.

1. 下列哪一组属于国际单位制的单位(　　)

A. m、N、kg　　B. kg、km、km/h

C. J、N/m、cm/s^2　　D. m/s^2、g、N/cm^2

2. 下述关于运动和力的说法中正确的是(　　)

A. 必须有力作用在物体上,物体才能运动,没有力作用,物体就要停下来

B. 物体所受的合外力不为零时,它的速度有可能为零

C. 当物体受到的跟运动方向相同的合外力逐渐减小时,物体的速度将逐渐减小

D. 物体受到的合外力恒定时,它的运动状态将保持不变

3. 汽车拉着拖车在水平道路上沿直线加速行驶,根据牛顿运动定律可知(　　)

A. 汽车拉拖车的力大于拖车拉汽车的力

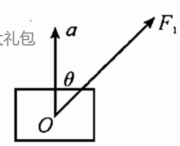
B. 汽车拉拖车的力等于拖车拉汽车的力

C. 汽车拉拖车的力大于拖车受到的阻力

D. 汽车拉拖车的力等于拖车受到的阻力

4. 一个静止于光滑水平面上的物体受到水平力 F_1 的作用,如果要使物体产生与 F_1 成 θ 角方向的加速度 a,如图所示,则应(　　)

更多资料干货 关注微信公众号 学习第一线 赠送5000G学习大礼包



A. 沿 a 方向施加一个作用力 F_2

B. 在物体上施加一个与 F_1 大小相等,与 a 方向也成 θ 角的力 F_2,且 F_2 方向在 a 的另一侧

C. 加在物体上的最小作用力 $F_2 = F_1 sin\theta$

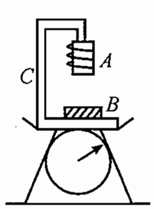
D. 加在物体上的最大作用力 $F_2 = \frac{F_1}{sin\theta}$

5. 一轻弹簧的上端固定,下端悬挂一重物体,弹簧伸长了 8cm,再将重物向下拉 4cm,然后放手,则在释放重物瞬间,重物的加速度是(　　)

A. $g/4$　　B. $g/2$

C. $3g/2$　　D. g

6. 如图所示中 A 为电磁铁挂在支架 C 上,放到台秤的托盘中,在它的正下方有一铁块 B,铁块静止时,台秤示数为 G,当电磁铁通电,铁块被吸引上升的过程中,台秤的示数将(　　)



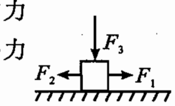
A. 变大

B. 变小

C. 大于 G,但呈恒量

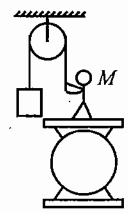
D. 先变大,后变小

7. 如图所示,质量 $m = 2kg$ 的物体,在 $F_1 = 40N$,$F_2 = 30N$ 的两个相反的水平拉力及竖直向下的力 F_3 的作用下仍处于静止状态,若撤去水平外力 F_2,则物体的加速度可能是(　　)



A. 0　　B. $5m/s^2$　　C. $15m/s^2$　　D. $20m/s^2$

8. 如图所示,一个质量为 M 的人站在台秤上,用跨过定滑轮的绳子,将质量为 m 的物体自高处放下,当物体以 a 加速下降($a < g$)时,台秤的读数为(　　)



A. $(M - m)g + ma$

B. $(M + m)g - ma$

C. $(M - m)g$

D. $(M - m)g - ma$

9. 升降机内有弹簧秤、天平各一个,分别用它们称量同一物体,当升降机匀加速上升时,称量的读数和升降机静止称量的读数相比较,结果是(　　)

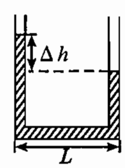
A. 两者均无变化

B. 两者均增大

C. 弹簧秤读数变大,而天平读数不变

D. 天平读数变大,而弹簧秤读数不变

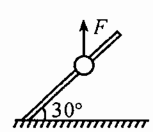
10. 如图所示,均匀 U 形管水平部分长 L,管中盛有一定质量的液体,当 U 形管以加速度 a 向右加速运动时,两管中液面的高度差 Δh 等于(　　)



A. La　　B. Lga　　C. aL/g　　D. gL/a

二、本题共有 6 小题,每小题 4 分,共 24 分,把答案填在题中的横线上.

11. 如图所示,质量为 1kg 的球,穿在斜杆上,斜杆与水平方向成 30°角,球与杆之间动摩擦因数为 $\frac{1}{2\sqrt{3}}$,球受到竖直向上的力为 20N,球的加速度为________.



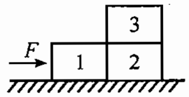
12. 一物体沿倾角 30°的斜面下滑时,加速度为零,则物体与斜面间的摩擦因数为________,若把斜面倾角增为 45°,其他条件不变,此时物体沿斜面下滑的加速度为________m/s^2.

13. 10kg 的物体静止在水平地面上受到水平恒力 F 作用后在时间 t 内的位移为 x,且 $x = 2t^2$,则物体 A 的加速度为________m/s^2. 若 4s 末撤去力 F,物体再经过 10s 停止运动,则物体与水平面间的动摩擦因数为________.

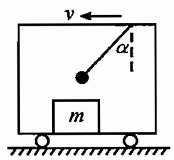
14. 雨滴在下降过程中,由于水汽的凝聚,雨滴质量将逐渐增大,同时由于下落速度逐渐增大,所受空气阻力也将越来越大,最后雨滴将以某一收尾速度匀速下降,在雨滴下降的过程中,重力产生的加速度________,雨滴下落的加速度______

__.(填"不变"、"减小"、或"增大")

15. 如图所示,在光滑水平面上有三块质量为 m_1、m_2、m_3 的木块,且 $m_1 = 2m_2 = 3m_3$,在力 F 的作用下产生运动,三木块处于相对静止状态,则每个木块所受合力的大小之比是________.



16. 如图所示为一向左运动的车厢,悬于车顶的小球稳定后向左偏,细线与竖直方向的夹角为 α,放在车厢底的质量为 m 的重物保持与车厢相对静止,重物所受摩擦力的大小为________,方向为________.



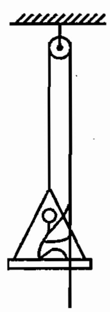
三、本题共 4 小题,共 56 分,解答应写出必要的文字说明、方程式和重要演算步骤,只写出最后答案的不能得分,有数值计算的题,答案中必须明确写出数值和单位.

17. (14 分,2009·安徽)在 2008 年北京残奥会开幕式上,运动员手拉绳索向上攀登,最终点燃了主火炬,体现了残疾运动员坚韧不拔的意志和自强不息的精神。为了探求上升过程中运动员与绳索和吊椅间的作用,可将过程简化。一根不可伸缩的轻绳跨过轻质的定滑轮,一端挂一吊椅,另一端被坐在吊椅上的运动员拉住,如图所示。设运动员的质量为 65kg,吊椅的质量为 15kg,不计定滑轮与绳子间的磨擦,重力加速度取 $g = 10m/s^2$。当运动员与吊椅一起正以加速度 $a = 1m/s^2$ 上升时,试求

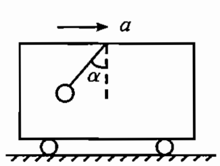
(1)运动员竖直向下拉绳的力;

(2)运动员对吊椅的压力。

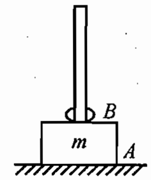
更多资料干货 关注微信公众号 学习第一线 赠送5000G学习大礼包



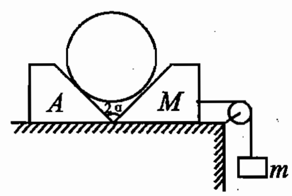
18. (14 分)在汽车车厢里的悬线上挂一个小球,实验表明:当汽车做匀变速运动时,悬线将不在竖直方向,而与竖直方向成某一固定角度,如图所示. 已知小球的质量是 30g,汽车的加速度为 $5.0m/s^2$,求小球对悬线的拉力.



19. (14 分)如图所示,底座 A 上装有 0.5m 的直立杆,总质量为 0.2kg,杆上套有 0.05kg 的小环 B,它与杆间有摩擦,且摩擦力恒定,当环从底座以 4m/s 的初速度飞起刚好能达到杆顶,求环升起的过程中底座对水平面的压力.($g = 10m/s^2$)



20. (14 分)光滑圆柱体放在 V 形槽中,截面如图所示,它的左边接触处为 A,V 形槽间夹角为 $2\alpha(\alpha > 45°)$. 用一细绳拴住 V 形槽,另一端通过定滑轮拴住一重物 m'. 设圆柱体质量为 m,槽的质量为 M,不计各种摩擦和滑轮的质量,当质量 m' 足够大时,在运动中圆柱体可以从槽中滚出,欲使圆柱体在运动中不离开 V 形槽,则重物 m' 应满足什么条件?



第四章

机械能及其守恒定律

难点巧学

一、“六法”——求力的功

1. 公式法：$W=F\cdot S\cdot\cos\alpha$，注意 F 为恒力，S 为相对地面的位移.

2. 动能定理法：合外力的功等于物体的动能变化，$W_{合外力}=\Delta E_K$，如例 18.

3. 功能关系法：涉及多种能量形势的情况，已知能量的变化，求某变力的功.

4. 机械能守恒法：如例 2.

5. 微元法：将变力做功累加起来，如例 4.

6. 图像法：$F-S$ 图像与坐标轴围成的面积为该力所做的功.

二、“五大对应”——功与能关系

做功的过程是能量转化的过程，功是能的转化的量度. 功是一种过程量，它和一段位移(一段时间)相对应；而能是一种状态量，它与一个时刻相对应. 两者的单位是相同的(都是 J)，但不能说功就是能，也不能说“功变成了能”.

更多资料干货 关注微信公众号 学习第一线 赠送5000G学习大礼包

1. 合力的功⇒动能变化：$W_外=\Delta E_K$，这就是动能定理.

2. 非重力的功⇒机械能变化：$W_其=\Delta E_机$，($W_其$ 表示除重力、弹力以外的其他力做的功)，这就是机械能守恒定律的推论，若 $W_其=0$ 就是机械能守恒定律了.

3. 弹力的功⇒弹性势能变化：$W_N=-\Delta E_{P弹簧}$.

4. 重力的功⇒重力势能变化：$W_G=-\Delta E_P$.

5. 滑动摩擦力总功⇒内能的增加：$f\cdot d=Q$(d 为这两个物体间相对移动的路程).

例 1　质量为 m 的物体在竖直向上的恒力 F 作用下减速上升了 H，在这个过程中，下列说法中正确的有(　　)

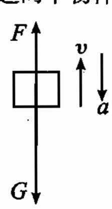


图 1

A. 物体的重力势能增加了 mgH

B. 物体的动能减少了 FH

C. 物体的机械能增加了 FH

D. 物体重力势能的增加小于动能的减少

【巧解】　由以上三个定理不难得出正确答案是 A、C.

例 2　如图 2 所示，一根轻弹簧下端固定，竖立在水平面上. 其正上方 A 位置有一只小球. 小球从静止开始下落. 在 B 位置接触弹簧的上端，在 C 位置小球所受弹力大小等于重力，在 D 位置小球速度减小到零. 小球下降阶段下列说法中正确的是(　　)

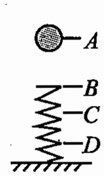


图 2

A. 在 B 位置小球动能最大

B. 在 C 位置小球动能最大

C. 从 $A\longrightarrow C$ 位置小球重力势能的减少大于小球动能的增加

D. 从 $A\longrightarrow D$ 位置小球重力势能的减少等于弹簧弹性势能的增加

【巧解】　小球动能的增加用合外力做功来量度，$A\longrightarrow C$ 小球受的合力一直向下，对小球做正功，使动能增加；$C\longrightarrow D$ 小球受的合力一直向上，对小球做负功，使动能减小，所以 B 正确. 从 $A\longrightarrow C$ 小球重力势能的减少等于小球动能的增加和弹性势能之和，所以 C 正确. A、D 两位置动能均为零，重力做的正功等于弹力做的负功，所以 D 正确. 选 B、C、D.

三、“四法”——判断机械能守恒

机械能守恒定律的两种表述：

1. 只有重力做功，物体的动能和重力势能发生相互转化，但机械能的总量保持不变.

2. 没有摩擦和阻力，物体只发生动能和重力势能相互转化时，机械能总量保持不变.

对机械能守恒定律的理解：

1. 机械能守恒定律的研究对象一定是系统，至少包括地球在内. 通常我们说“小球的机械能守恒”其实一定也就包括地球在内，因为重力势能就是小球和地球所共有的. 另外小球的动能中所用的 v，也是相对于地面的速度.

2. 当研究对象(除地球以外)只有一个物体时，往往根据是否“只有重力做功”来判定机械能是否守恒；当研究对象(除地球以外)由多个物体组成时，往往根据是否“没有摩擦和介质阻力”来判定机械能是否守恒.

3. “只有重力做功”不等于“只受重力作用”. 在该过程中，物体可以受其他力的作用，只要这些力不做功，或所做功的代数和为零，就可以认为是“只有重力做功”.

通过以上理解，总结判断机械能守恒的方法如下：

1. 守恒法：$E_P+E_K=E'_P+E'_K$；$\Delta E_P+\Delta E_K=0$；$\Delta E_1+\Delta E_2=0$；$\Delta E_增=\Delta E_减$.

2. 动能定理法：$W_其=\Delta E_机$($W_其$ 表示除重力以外的其他力做的功)，$\Delta E_机=0$ 则守恒.

3. 功能关系法：除了动能、重力势能、弹性势能，没有其它能量形式的产生则守恒.

4. 观察法：运动状态为匀速直线运动；除重力和弹簧弹力没有其他力；水平面的匀速圆周运动等.

例3 如图3物块和斜面体都是光滑的，物块从静止沿斜面下滑过程中，物块机械能是否守恒？系统机械能是否守恒？

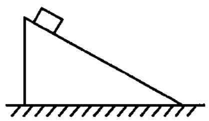


图3

【巧解】 以物块和斜面系统为研究对象，很明显物块下滑过程中系统不受摩擦和介质阻力，故系统机械能守恒. 又由水平方向系统动量守恒可以得知：斜面体将向左运动，即斜面的机械能将增大，故物块的机械能一定将减少.

有些同学一看本题说的是光滑斜面，容易错认为物块本身机械能就守恒. 这里要提醒两条：(1)由于斜面体本身要向左滑动，所以斜面对物块的弹力 N 和物块的实际位移 s 的方向已经不再垂直，弹力要对物块做负功，对物块来说已经不再满足"只有重力做功"的条件.

(2)由于水平方向系统动量守恒，斜面一定会向左运动，其动能也只能是由物块的机械能转移而来，所以物块的机械能必然减少.

四、"三法"——巧解链条问题

例4 如图4所示，均质铁链的1/3搁在倾角为30°的粗糙斜面上，其余部分垂直下垂，现在铁链底端拉铁链至整条铁链刚好全部离开斜面的过程中，铁链的重力势能减少多少？(铁链总质量为 m，全长为 L)

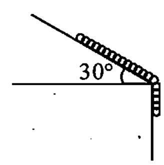


图4

【巧解】 分段法 填补法 重心移动法

更多资料干货 关注微信公众号 学习第一线 赠送5000G学习大礼包

利用分段法确定各部分物体的重力势能，则整体重力势能为各部分重力势能之和. 填补法是将斜面部分直接去掉，填补到原铁链底端，计算重力势能变化只需要计算填补移动部分的铁链重力势能的变化即可. 重心法是求出始末状态的整个链条质心所在位置，直接由重力势能公式求取. 请自行练习.

【答案】 11mgL/36.

五、两种含义——正确理解功的公式，功率的公式

功的公式：$W=F\cdot S\cdot\cos\alpha$，功为标量.

注意：F 为恒力，S 为相对地面的位移，α 为 F、S 间夹角，角度为锐角，表示正功，钝角表示负功，直角表示零功. 公式有两种拆法：$W=F\cos\alpha\cdot S$，理解为沿位移方向的分力做功，垂直位移方向为0. $W=F\cdot S\cos\alpha$，理解为力方向的位移为有效位移，垂直力方向为无效位移.

功率的公式：

1. 平均功率 $P=W/t$

2. 恒力功率 $P=Fv\cos\alpha$，将平均速度代入公式，则同样可求得平均功率，比如例5

3. 功率：功率是描述做功快慢的物理量.

汽车两种启动问题：当汽车从静止开始沿水平面加速运动时，有两种不同的加速过程，但分析时采用的基本公式都是 $P=FV$ 和 $F-f=ma$

1. 恒定功率的加速. 由公式 $P=FV$ 和 $F-f=ma$ 知，由于 P 恒定，随着 v 的增大，F 必将减小，a 也必将减小，汽车做加速度不断减小的加速运动，直到 $F=f$，$a=0$，这时 v 达到最大值 $v_m=\frac{P_m}{F}=\frac{P_m}{f}$. 可见恒定功率的加速一定不是匀加速. 这种加速过程发动机做的功只能用 $W=Pt$ 计算，不能用 $W=Fs$ 计算(因为 F 为变力).

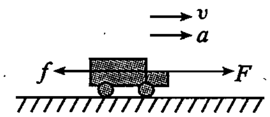


图5

2. 恒定牵引力的加速. 由公式 $P=Fv$ 和 $F-f=ma$ 知，由于 F 恒定，所以 a 恒定，汽车做匀加速运动，而随着 v 的增大，P 也将不断增大，直到 P 达到额定功率 P_m，功率不能再增大了. 这时匀加速运动结束，其最大速度为 $v'_m=\frac{P_m}{F}<\frac{P_m}{f}=v_m$，此后汽车要想继续加速就只能做恒定功率的变加速运动了. 可见恒定牵引力的加速时功率一定不恒定. 这种加速过程发动机做的功只能用 $W=F\cdot S$ 计算，不能用 $W=P\cdot t$ 计算(因为 P 为变功率).

要注意两种加速运动过程的最大速度的区别.

六、解题的重要法宝之一——动能定理

1. 动能定理的表达式：$W_{\Sigma F}=\frac{1}{2}mv_t^2-\frac{1}{2}mv_0^2$，只要知道合力 F、位移 S、始末速度 v_0、v 四个物理量中任意三个就可求解第四个.

2. 与牛顿运动定律的比较：利用动能定理只需考虑始末两个状态的动能和外力对物体做的功，它还可以把不同运动过程合并成一个全过程，如例10、例12、例13、例15等.

3. 过程与状态的选取：选取一个过程，确定两个状态，即初末状态，及与过程对应的所有外力做功的代数和，要注意所有外力的功的计算方法，功的概念中位移是相对地面的，所有速度均相对地面、参考系统一.

七、作用力与反作用力的总功为零吗？——摩擦力的功归类

滑动摩擦力做功有以下特点：

1. 摩擦力对某一物体来说，可做正功、负功或不做功；

2. $f_{静}$ 做功⇒机械能转移，没有内能产生；

3. $Q=f_{滑}\cdot\Delta S$(ΔS 为物体间相对距离)

一对作用力和反作用力做功的特点：

1. 一对作用力和反作用力在同一段时间内做的总功可能为正、为负、也可能为零.

2. 一对互为作用力和反作用的摩擦力做的总功可能为零(均静摩擦力)、可能为负(均为滑动摩擦力)，但不可能为正.

活题巧解

例1 (江苏高考题)如图6，DO 是水平面，AB 是斜面，初速为 v_0 的物体从 D 点出发沿 DBA 滑动到顶点 A 时，速度刚好为零. 如果斜面改为 AC，让物体从 D 点出发沿 DCA 滑动到顶

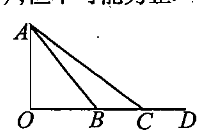


图6

点 A 且速度刚好为零,则物体具有的初速度(已知物体与路面间的动摩擦因数处处相同且不为零.)(　　)

A. 大于 v_0　　　　B. 等于 v_0

C. 小于 v_0　　　　D. 取决于斜面的倾角

【巧解】 等效法

结论:无论沿着什么斜面从 D 点到达 A 点,摩擦力做功一样,均为 $\mu mg\cdot DO$,即相当于物体沿着 DO 水平地面运动所受到的摩擦力做功一样(请自行推导).利用这个结论的等效方法,由动能定理可知,从 D 到 A 点,无论从什么斜面经过,重力做功和摩擦力做功均相等,故在 D 点物体所具有的初速度为 v_0.

【答案】 B

例2 (2010 新课标全国卷)如图 7 所示,在外力作用下某质点运动的 $v-t$ 图象为正弦曲线。从图中可以判断(　　)

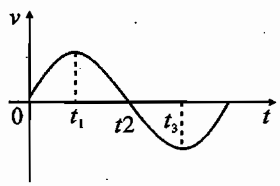


图 7

A. 在 $0\sim t_1$ 时间内,外力做正功

B. 在 $0\sim t_1$ 时间内,外力的功率逐渐增大

C. 在 t_2 时刻,外力的功率最大

D. 在 $t_1\sim t_3$ 时间内,外力做的总功为零

【巧解】 推理法　图像法

在 $0\sim t_1$ 时间内,由 $v-t$ 图像可知速度在逐渐增大,显然外力做正功,A 项正确;

应用 $P=Fv$ 讨论外力的功率:在 $0\sim t_1$ 时间内,图像的斜率越来越小,即加速度越来越小,即外力越来越小,在 $t=t_1$ 时刻,外力为零,所以 B 项错误;在 t_2 时刻,$v=0$,所以 $P=0$,C 项错误。

从图中可知:t_1 和 t_3 时刻物体的速度大小相等,即物体的动能相等,依据动能定理知在 $t_1\sim t_3$ 时间内,外力做的总功为零,显然 D 项正确。

【答案】 AD.

【说明】 在探究胡克定律的实验中,$F-x$ 图像的斜率表示劲度系数;在探究牛顿第二定律的实验中,$a-\frac{1}{m}$图像的斜率表示合外力(斜率不变恰好是牛顿第二定律的验证);在探究利用单摆测定重力加速度的实验中,$L-T^2$ 图像的斜率表示$\frac{g}{4\pi^2}$;在探究闭合电路欧姆定律的各种实验中,斜率均有广泛的应用;在探究光电效应规律的密立根实验中,U_c-v 图像的斜率表示$\frac{h}{e}$等,我们通过不完全地列举高中物理实验探究中涉及到的斜率问题,旨在启发大家一定要注重应用函数思想处理物理问题的训练。

例3 (全国高考题)以初速度 v_0 竖直上抛一小球,若不计空气阻力,在上升过程中,从抛出到小球动能减少一半所经历的时间是(　　)

A. v_0/g　　　　B. $v_0/(2g)$

C. $\sqrt{2}v_0/(2g)$　　　　D. $v_0(1-\sqrt{2}/2)/g$

【巧解】 逆向转换法

根据运动的可逆性知,小球上升的逆运动,就是自由落体运动,且运动的总时间 $t=v_0/g$.当动能减少一半时,上升高度为最大高度的一半,根据自由落体运动的特点,通过连续相等位移的时间关系为 $t_n=(\sqrt{n}-\sqrt{n-1})$,所以 $t_2/t_1=(\sqrt{2}-1)/2$.

由动能定理,上升中动能减半的时间为

$t_2=(t_1+t_2)(\sqrt{2}-1)/\sqrt{2}=t(1-\sqrt{2}/2)=v_0(1-\sqrt{2}/2)/g$.

故应选选项 D.

【答案】 D

例4 用水平拉力,拉着滑块沿半径为 R 的水平圆轨道运动一周,如图 8,已知物块与轨道间动摩擦因数为 μ,物块质量为 m,求此过程中摩擦力做的功.

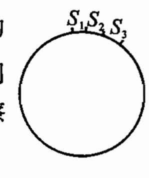


图 8

【巧解】 微元法

由题意知,物体受的摩擦力在整个过程中大小 $F=\mu mg$ 不变、方向时刻变化,是变力,但是我们把圆周分为无数个小微元段,每一小段可近似成小直线,从而摩擦力在每一小段上方向不变,每一小段上可用恒力做功的公式计算,然后各段累加起来,所以滑块运动一周摩擦力做功为 $-2\mu mg\pi R$.

【答案】 $-2\mu mg\pi R$.

例5 如图 9(a),一质量为 m 的物体,从倾角为 θ 的光滑斜面顶端由静止下滑,开始下滑时离地面的高度为 h,当物体滑至斜面底端时重力的瞬时功率为(　　)

A. $mg\sqrt{2gh}$

B. $mg\sqrt{2gh}\cdot\sin\theta$

C. $mg\sqrt{2gh}\cdot\cos\theta$

D. $mg\sqrt{2gh}\cdot\sin^2\theta$

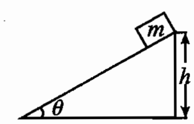


图 9(a)

【巧解】 公式法　分解法

由动力学规律知道物体沿光滑斜面下滑做匀加速运动,其加速度 $a=g\sin\theta$,由斜面高度 h 得斜面长即物体做初速为零的匀加速运动的位移 $s=\frac{h}{\sin\theta}$,物体刚滑至斜面底端速度 $v=\sqrt{2as}=\sqrt{2\times g\sin\theta\frac{h}{\sin\theta}}=\sqrt{2gh}$,刚到斜面底端时物体的重力受力如图 9(b),由功率公式:

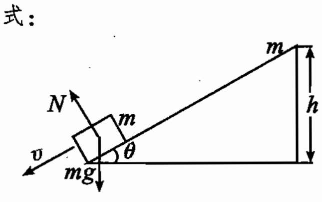


图 9(b)

$p=F\cdot v\cos\alpha$ 得此时重力功率 $P=mg\cdot v\cos(\frac{\pi}{2}-\theta)$

$P=mg\sqrt{2gh}\cdot\sin\theta$

【答案】 B

例6 长为 L 的细线一端固定在 O 点,另一端系一质量为 m 的小球,开始时,细线被拉直,并处于水平位置,球处在与 O 点

等高的 A 位置，如图 10，现将球由静止释放，它由 A 运动到最低点 B 的过程中，重力的瞬时功率变化情况是(　　)

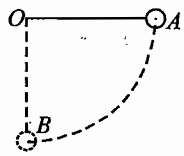


图 10

A. 一直在增大

B. 一直在减少

C. 先增大后减少

D. 先减少后增大

【巧解】 极值法

小球在 A 位置时速度为零，重力的瞬时功率为零，到达 B 位置时，速度达到最大，方向水平向左，与重力夹角为 90°，B 处重力瞬时功率也为零，由于两个极端位置瞬时功率均为零，中间过程功率不为零，故可判断 C 正确.

【答案】 C

例 7 质量为 m_1、m_2 的两物体，静止在光滑的水平面上，质量为 m 的人站在 m_1 上用恒力 F 拉绳子，经过一段时间后，两物体的速度大小分别为 v_1 和 v_2，位移分别为 S_1 和 S_2，如图 11. 则这段时间内此人所做的功的大小等于(　　)

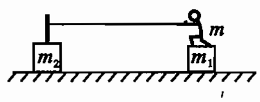


图 11

A. FS_2　　　　B. $F(S_1+S_2)$

C. $\frac{1}{2}m_2v_2^2+\frac{1}{2}(m+m_1)v_1^2$　　　　D. $\frac{1}{2}m_2v_2^2$

【巧解】 等效法

根据能量守恒可知，人通过做功消耗的化学能将全部转化为物体 m_1 和 m_2 的动能以及人的动能. 所以人做的功的大小等于

$$F(S_1+S_2)=\frac{1}{2}m_2v_2^2+\frac{1}{2}(m+m_1)v_1^2$$

更多资料干货 关注微信云众号 学习第一线 赠送5000G学习大礼包

即 B、C 两选项正确.

【答案】 B、C

例 8 小物块位于光滑的斜面上，斜面位于光滑的水平地面上，从地面上看，在小物块沿斜面下滑的过程中，斜面对小物块的作用力.(　　)

A. 垂直于接触面，做功为零；

B. 垂直于接触面，做功不为零；

C. 不垂直于接触面，做功不为零；

D. 不垂直于接触面，做功不为零.

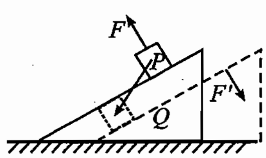


图 12

【巧解】 公式法

本题考查功的公式中正功、负功、零功的区分. 小物块 A 在下滑过程中和斜面之间有一对相互作用力 F 和 F'，如图 12 所示. 如果把斜面 B 固定在水平桌面上，物体 A 的位移方向和弹力方向垂直，这时斜面对物块 A 不做功. 但此题告诉的条件是斜劈放在光滑的水平面上，可以自由滑动. 此时弹力方向仍然垂直于斜面，但是物块 A 的位移方向却是从初位置指向终末位置. 如图 12，弹力和位移方向不再垂直而是成一钝角，所以弹力对小物块 A 做负功，即 B 选项正确.

【答案】 B

例 9 质量为 M 的列车沿水平直轨道匀速前进，其末节车厢质量为 m，中途脱钩，司机发觉时，机车已走了距离 L，于是立即关闭油门，撤去牵引力，设运动中阻力与质量成正比，机车的牵引力是恒定的，求当列车两部分都静止时，它们的距离是多少？

【巧解】 整体法

本题若分别以机车和末节车厢为研究对象用运动学、牛顿第二定律求解，比较复杂，若以整体为研究对象，研究整个过程，则比较简单.

假设末节车厢刚脱钩时，机车就撤去牵引力，则机车与末节车厢同时减速，因为阻力与质量成正比，减速过程中它们的加速度相同，所以同时停止，它们之间无位移差. 事实是机车多走了距离 L 才关闭油门，相应的牵引力对机车多做了 FL 的功，这就要求机车相对于末节车厢多走一段距离 ΔS，依靠摩擦力做功，将因牵引力多做功而增加的动能消耗掉，使机车与末节车厢最后达到相同的静止状态. 所以有：

$FL=f\cdot\Delta S$

其中 $F=\mu Mg$，$f=\mu(M-m)g$

代入上式得两部分都静止时，它们之间的距离：$\Delta S=ML/(M-m)$

【答案】 $ML/(M-m)$

例 10 如图 13，A、B 是位于水平面上的质量相等的小滑块，离墙壁距离分别为 $2L$ 和 L，与水平面间的动摩擦因数均为 μ，今给 A 以某一向左的初速度使 A 向左滑动，假定 A、B 之间及 B 与墙壁之间的碰撞时间很短，且均无能量损失，若要使 A 始终不向右滑动，A 的初速度最大不超过多大？

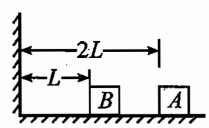


图 13

【巧解】 整体法

本题 A 以 v_0 向左作匀减速运动，与 B 碰后速度交换，A 静止，B 以 v_0 向左作匀减速运动，与墙碰后向右作匀减速运动，若 B 运动到 A 处速度刚好减为零，则 v_0 就是使 A 始终不向右滑动的最大速度.

用整体法考虑，研究对象取 A、B 组成的系统，研究过程取从 A 开始运动到 B 刚好停止的全过程，由动能定理得：

$$-\mu mgL-\mu mg\cdot 2L=0-\frac{1}{2}mv_0^2$$

解得：$v_0=\sqrt{6\mu gL}$

【答案】 $v_0=\sqrt{6\mu gL}$

例 11 （上海高考题）跳绳是一种健身运动，设某运动员的质量为 50kg，他 1min 跳绳 180 次，假定在每次跳跃中，脚与地面接触时间占跳跃一次所需时间的 2/5，则运动员跳绳时克服重力作功的平均功率（指对跳绳的整个过程取平均——笔者注）是多少？（g 取 10m/s^2）

【巧解】 模型法

本题直接取材于人们都很熟悉的生活现象，许多学生感到无从下手难度很大，这里的关键有两点，第一是经分解、简化、抽象建立正确的物理模型，第二是用功能关系理顺解题的思路.

首先，把跳绳的运动分解成脚脱离地面和脚接触地面两段

过程,在人脚跳离地面到落回到地面这段时间,由于运动速度比较小,空气阻力可以忽略,而且主要是身体(或质心)上下的平动,故可以建立竖直上抛运动的简化模型.

然后再考虑到,运动员跳绳时人体消耗生物能转化为跳起时的功能,而且正因为具有该动能才能克服重力作功,二者的数值应当相等.这样,只要根据题中给出的条件和竖直上抛公式,求出跳起时的动能和平均跳一次的时间,就可以求出题中所要求的平均功率.

运动员平均每跳一次的时间为 $T=t/N=60/180s=1/3s$,则每次在空中停留时间为 $T'=(1-2/5)T=1/5s$,由竖直上抛公式,上升到最高点的时间 $t_1=v_0/g=T'/2$,可得 $v_0=T'g/2=1/2\times1/5\times10m/s=1m/s$.

故运动员跳绳时克服重力作功的平均功率为

$$P=\frac{W}{T}=\frac{Mv_0^2}{2T}=75W$$

【答案】 75W

例12 (2010 全国Ⅱ卷)如图14,MNP为竖直面内一固定轨道,其圆弧段MN与水平段NP相切于N,P端固定一竖直挡板。M相对于N的高度为h,NP长度为s.一物块自M端从静止开始沿轨道下滑,与挡板发生一次完全弹性碰撞后停止在水平轨道上某处。若在MN段的摩擦可忽略不计,物块与NP段轨道间的滑动摩擦因数为μ,求物块停止的地方与N点距离的可能值.

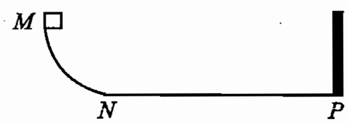


图 14

【巧解】 分类法 能量守恒法

更多资料干货 关注微信公众号 学习第一线 赠送5000G学习大礼包

将最初开始下滑时选为初态,将最终停止时选为末态。依据能量守恒定律有

$E_p=Q$,其中 Q 为内能.

即 $mgh=\mu mgS'$,式中 S' 为物块在NP段的总路程。

设物块停止的地方与N点距离的可能值为 d.由于物块与挡板只发生一次弹性碰撞就停止在 NP 轨道某处,可以判断出本题有两种可能的物理情景:

①物块与挡板碰撞后未能重新滑上MN轨道,有 $S'=2s-d$,所以 $d=2s-\frac{h}{\mu}$(满足 $\frac{h}{\mu}\leqslant 2s$ 时.)

②物块与挡板碰撞后能重新滑上MN轨道,有 $S'=2s+d$,所以 $d=\frac{h}{\mu}-2s$(满足 $\frac{h}{\mu}>2s$ 时.)

例13 从离地面高为 H 处落下一只小球,小球运动中所受空气阻力是其重力的 k 倍,小球与地面碰撞后能以大小相等的速度竖直反弹,求小球从释放开始到停止运动时所经历的总路程.

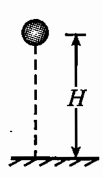


图 15

【巧解】 整体法

若我们采用分段计算的"隔离思考"法处理本题,则可以找到一个分段计算的递推公式,总路程则是一个数列的和.这显然是复杂的.若用"整体思想"处理本题,则不必分段计算.注意在全过程中,重力做功仅为 mgH,阻力做功为 $-kmgs$,s 是总路程,所以有:$mgH-kmgs=0$.故 $s=H/k$.

【答案】 $s=H/k$.

例14 (2010上海卷)倾角 $\theta=37°$,质量 M=5kg 的粗糙斜面位于水平地面上,质量 m=2kg 的木块置于斜面顶端,从静止开始匀加速下滑,经 t=2s 到达底端,运动路程 L=4m,在此过程中斜面保持静止($\sin37°=0.6$,$\cos37°=0.8$,g 取 $10m/s^2$),求:

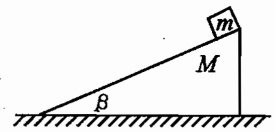


图 16

(1)地面对斜面的摩擦力大小与方向;

(2)地面对斜面的支持力大小;

(3)通过计算证明木块在此过程中满足动能定理.

【巧解】 整体法

(1)(2).因为物体沿斜面向下做初速度为零的匀加速直线运动,有

$$L=\frac{1}{2}at^2$$

又 $L=4m$,$t=2s$

所以 $a=2m/s^2$

将 m 和 M 视为一个整体进行受力分析,整体受到竖直向上的支持力 F_N,水平向左(假设)的摩擦力 f 和竖直向下的重力 $(M+m)g$,如图17(a).将加速度 a 正交分解为水平向左的 a_x 和竖直向下的 a_y,如图17(b).

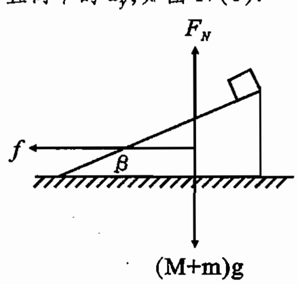


图 17(a)

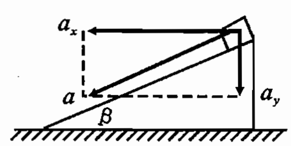


图 17(b)

对整体应用牛顿第二定律,有 $(M+m)g-F_N=ma_y+M\times0$

$f=ma_x+M\times0$

易得:$F_N=67.6N$;

$f=3.2N$,$f>0$ 表明方向为水平向左.

(3)物块下滑过程中,合外力做的功为

$W_{合}=F_{合}L\cos0°=maL=16J$

物块的末态动能为 $E_k=\frac{1}{2}mv^2=\frac{1}{2}m(at)^2=16J$

显然,$W_{合}=E_k-0$,即 $W_{合}=\Delta E_k$

所以,木块在此过程中满足动能定理.

【说明】 在应用牛顿第二定律处理多物体问题时,我们可以应用整体法,即

$\Sigma F_x=m_1a_{1x}+m_2a_{2x}+m_3a_{3x}+\cdots\cdots$

$\Sigma F_y=m_1a_{1y}+m_2a_{2y}+m_3a_{3y}+\cdots\cdots$

实现巧解。

例 15 如图 18，一斜轨道与一竖自放置的半径为 r 的半圆环轨道相连接. 现将一光滑小球从高度为 $h=2.4r$ 的斜轨上由静止开始释放. 试问小球脱离轨道时将做什么运动?

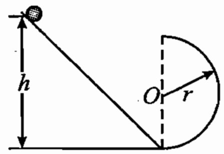


图 18

【巧解】 临界值法

假设小球在圆周顶点恰脱离轨道，则 $v_0=\sqrt{gr}$，由机械能守恒得：$mgh_1=mg\cdot 2r+\dfrac{mv_0^2}{2}$

解得 $h_1=2.5r>h=2.4r$

所以，球只能在环轨的上半部某处脱离轨道，然后做斜上抛运动.

注：(若 $h_1=h$，过顶点后将平抛运动)

【答案】 球只能在环轨道的上半部某处脱离轨道，然后做斜上抛运动.

例 16 一个质量为 m 的小球拴在细绳的一端，另一端用大小为 F_1 的拉力作用，在水平面上做半径为 R_1 的匀速圆周运动，如图 19，今将力的大小改为 F_2，使小球仍在水平面上做匀速圆周运动，但半径为 R_2. 小球运动的半径由 R_1 变成 R_2 的过程中拉力对小球做的功多大?

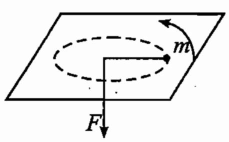


图 19

【巧解】 能量法

设半径为 R_1、R_2 时小球做圆周运动的速度大小分别为 v_1、v_2，由向心力公式得 $F_1=\dfrac{mv_1^2}{R_1}$，$F_2=\dfrac{mv_2^2}{R_2}$

由动能定理 $W=\dfrac{1}{2}mv_2^2-\dfrac{1}{2}mv_2^2$

解得：$W=\dfrac{1}{2}(F_2R_2-F_1R_1)$

【答案】 $W=\dfrac{1}{2}(F_2R_2-F_1R_1)$

例 17 在光滑的平面上有一静止物体，现以水平恒力推这一物体. 作用一段时间后，换成相反方向的水平恒力推这一物体，当恒力乙作用时间与恒力甲作用时间相同时，物体恰好回到原处，此时物体的动能为 32J，则在整个过程中，甲、乙两力做功分别是多少?

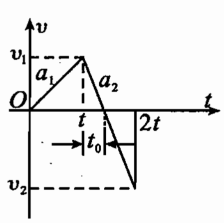


图 20

【巧解】 图象法

如图 20，用 $v-t$ 图，使物理过程更加直观. 物体回到原点，意味着图线上下与 t 轴间的面积相等，则 $v_1=a_1t$，$v_2=a_2(t-t_0)$

故 $\dfrac{1}{2}a_1t(t+t_0)=\dfrac{1}{2}a_2(t-t_0)^2$，又 $a_1t=a_2t_0$

解得 $\dfrac{t}{t_0}=3$，即 $\dfrac{a_2}{a_1}=3$，

故两力做功之比 $\dfrac{W_乙}{W_甲}=\dfrac{F_乙S}{F_甲S}=\dfrac{F_乙}{F_甲}=\dfrac{a_2}{a_1}=3$

由动能定理 $W_甲+W_乙=32\text{J}$，从而 $W_甲=8\text{J}$，$W_乙=24\text{J}$

【答案】 $W_甲=8\text{J}$，$W_乙=24\text{J}$

例 18 如图 21，轻弹簧竖直固定在水平地面上，弹簧的劲度系数为 k，原长为 l_0. 质量为 m 的铁球由弹簧正上方 H 高处自由下落，落在离地面多高时它的动能最大? 球在离地面多高时，弹簧的弹性势能最大?

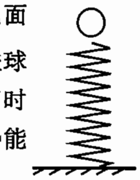


图 21

【巧解】 平均值法

铁球压缩弹簧做变加速运动，由运动和力的关系可知，小球的运动是先加速后减速，当弹力和重力相等时运动发生转折.

(1) 设动能最大时弹簧的压缩量为 x_1，此时 $mg=kx_1$，$x_1=\dfrac{mg}{k}$. 铁球离地面高度 $h_1=l_0-x_1=l_0-\dfrac{mg}{k}$

(2) 设弹簧弹性势能最大时弹簧的压缩量为 x_2，平均弹力 $\overline{F}=\dfrac{kx_2}{2}$，重力势能的减少量转化为弹性势能，故 $mg(H+x_2)=\overline{F}\cdot x_2=\dfrac{kx_2^2}{2}$

得 $kx_2^2-2mgx_2-2mgH=0$

则 $x_2=\dfrac{mg+\sqrt{m^2g^2+2mgkH}}{k}$

$\therefore h_2=l_0-x_2=l_0-\dfrac{mg+\sqrt{m^2g^2+2mgkH}}{k}$

【答案】 (1) $l_0-\dfrac{mg}{k}$；(2) $l_0-\dfrac{mg+\sqrt{m^2g^2+2mgkH}}{k}$

例 19 一辆汽车通过如图 22(a) 中的细绳提起井中质量为 m 的物体，开始时，车在 A 点，绳子已经拉紧且是竖直，左侧绳长为 H. 提升时，车加速向左运动，沿水平方向从 A 经过 B 驶向 C. 设 A 到 B 的距离也为 H，车过 B 点时的速度为 v. 求在车由 A 移到 B 的过程中，绳 Q 端的拉力对物体做的功. 设绳和滑轮的质量及摩擦不计，滑轮尺寸不计.

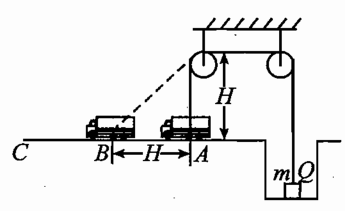


图 22(a)

【巧解】 临界值法 分解法

本题中汽车和重物构成连接体，但解题通常取重物作为研究对象，根据动能定理列方程：

$W-mgh=\dfrac{1}{2}mv_1^2-0$ ①

根据几何关系得出 $h=(\sqrt{2}-1)H$ ②

由于左边绳端和车有相同的水平速度 v，v 可分解成沿绳子方

向和垂直绳子方向的两个分速度，如图22(b)，$v_1=v_x=\frac{\sqrt{2}}{2}v$　③

将③式和②式代入①式即可解得. $W=mg(\sqrt{2}-1)H+\frac{1}{4}mv^2$

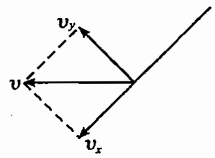


图22(b)

【答案】 $W=mg(\sqrt{2}-1)H+\frac{1}{4}mv^2$.

例20 如图23，斜面足够长，其倾角为 α，质量为 m 的滑块，距挡板 P 为 S_0，以初速度 v_0 沿斜面上滑，滑块与斜面间的动摩擦因数为 μ，滑块所受摩擦力小于滑块沿斜面方向的重力分力，若滑块每次与挡板相碰均无机械能损失，求滑块在斜面上经过的总路程为多少？

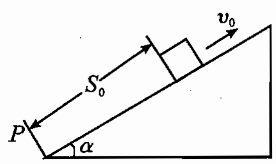


图23

【巧解】 整体法

滑块在滑动过程中，要克服摩擦力做功，其机械能不断减少；又因为滑块所受摩擦力小于滑块沿斜面方向的重力分力，所以最终会停在斜面底端.

在整个过程中，受重力、摩擦力和斜面支持力作用，其中支持力不做功. 设其经过和总路程为 L，对全过程，由动能定理得：

$$mgS_0\sin\alpha-\mu mg\cos\alpha L=0-\frac{1}{2}mv_0^2$$

得 $L=\dfrac{mgS_0\sin\alpha+\frac{1}{2}mv_0^2}{\mu mg\cos\alpha}$

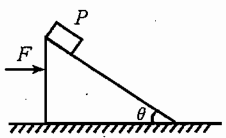
【答案】 $L=\dfrac{mgS_0\sin\alpha+\frac{1}{2}mv_0^2}{\mu mg\cos\alpha}$

更多资料干货 关注微信公众号 学习第一线 赠送5000G学习大礼包

第四章　机械能及其守恒定律综合测试

一、选择题(每小题4分,共48分)

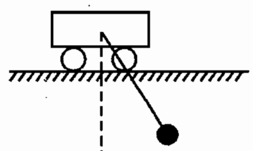
1. 如图所示,质量为 m 的物体 P 放在光滑的倾角为 θ 的直角劈上,同时用力 F 向右推劈,使 P 与劈保持相对静止,当前进的水平位移为 s 时,劈对 P 做功为(　　)



A. Fs　　B. $mg\frac{s}{2}\sin\theta$

C. $mgs\cos\theta$　　D. $mgs\tan\theta$

2. 如图所示,一辆小车静止在光滑的水平导轨上,一个小球和细绳悬挂在车上,由图中位置无初速释放,则小球在下摆过程中,下列说法中正确的是(　　)



A. 绳对小球的拉力不做功

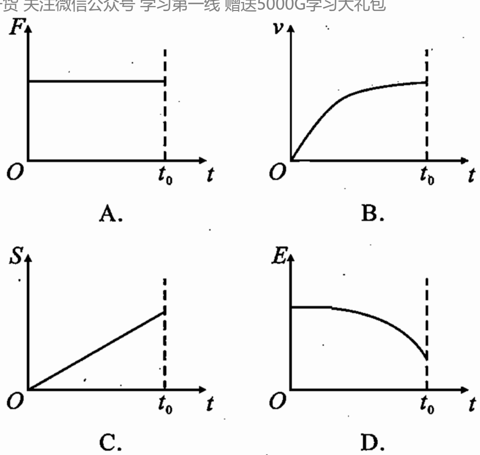
B. 绳对小球的拉力做正功

C. 小球所受的合力不做功

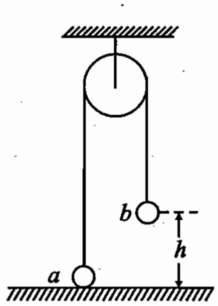
D. 绳对小球的拉力做负功

3. (2008·四川)一物体沿固定斜面从静止开始向下运动,经过时间 t_0 滑至斜面底端.已知在物体运动过程中物体所受的摩擦力恒定.若用 F、v、s 和 E 分别表示该物体所受的合力、物体的速度、位移和机械能,则下列图象中可能正确的是(　　)

更多资料千货 关注微信公众号 学习第一线 赠送5000G学习大礼包



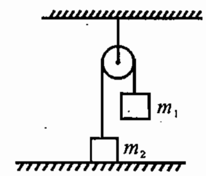
4. (2008·全国)如图,一很长的、不可伸长的柔软轻绳跨过光滑定滑轮,绳两端各系一小球 a 和 b. a 球质量为 m,静置于地面;b 球质量为 $3m$,用手托住,高度为 h,此时轻绳刚好拉紧.从静止开始释放 b 后,a 可能达到的最大高度为(　　)



A. h　　B. $1.5h$

C. $2h$　　D. $2.5h$

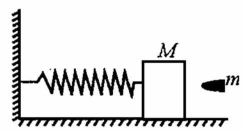
5. 如图所示,两个物体用轻绳经光滑的滑轮拴在一起,质量分别为 m_1 和 m_2,m_2 在地面上,m_1 离地面的高度为 h,$m_1>m_2$,由静止释放,则 m_1 落地后,m_2 还能上升的高度为(　　)



A. $\frac{(m_1-m_2)h}{m_1+m_2}$　　B. $\frac{(m_1+m_2)h}{m_1-m_2}$

C. $\frac{2(m_1-m_2)h}{m_1+m_2}$　　D. $\frac{2(m_1+m_2)h}{m_1-m_2}$

6. 如图所示的装置中,木块 M 与地面间无摩擦,子弹 m 以一定的速度沿水平方向射入木块并留在其中,然后将弹簧压缩至最短,现将木块、子弹、弹簧作为研究对象,从子弹开始射入木块到弹簧压缩至最短的过程中,系统的(　　)



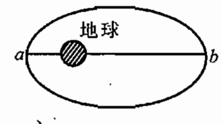
A. 机械能守恒

B. 机械能不守恒

C. 产生的势能等于子弹动能的减少量

D. 弹簧压缩至最短时,动能全部转化成势能

7. 如图所示,人造地球卫星在椭圆形轨道上运转,设 a 点为近地点,b 点为远地点,卫星沿轨道做顺时针转动,则关于万有引力做功的下列叙述中正确的是(　　)



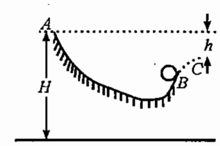
A. 当卫星由 a 点向 b 点运行的过程中,万有引力做正功

B. 当卫星由 a 点向 b 点运行的过程中,万有引力做负功

C. 当卫星由 b 点向 a 点运行的过程中,万有引力做正功

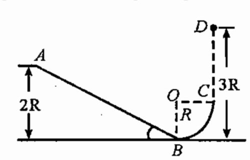
D. 当卫星由 b 点向 a 点运行的过程中,万有引力做负功

8. 如图所示,一质量为 m 的物体在 A 点从静止开始滑到 B 点抛出,若在从 A 到 B 的过程中,机械能损失为 E,物体在 B 点抛出时的水平分速度为 v,则物体抛出后到达最高点 C 时与 A 点的竖直距离 h 应等于(　　)



A. $\frac{E}{mg}+\frac{v^2}{2g}$　　B. $\frac{E}{mg}$　　C. $\frac{v^2}{2g}$　　D. $\frac{E}{mg}+\frac{v^2}{4g}$

9. 有一斜轨道 AB 与同材料的 $\frac{1}{4}$ 圆周轨道平滑相接,数据如图所示,D 点在 C 点的正上方,距地面高度为 $3R$,现让一个小滑块从 D 点自由下落,沿轨道刚好能滑动到 A 点,则它再从 A 点沿轨道自由滑下,能上升到的距地面的最大高度是(不计空气阻力)(　　)



A. R　　B. $2R$

C. 在0与 R 之间　　D. 在 R 与 $2R$ 之间

10. 质量为 m 的汽车,启动后沿平直路面行驶,如果发动机的功

率恒为 P,且行驶过程中受到的摩擦阻力大小一定,汽车速度能够达到最大值为 v,那么,当汽车的车速为 $\frac{v}{4}$ 时,汽车的瞬时加速度的大小为(　　)

A. $\frac{P}{mv}$　　B. $\frac{2P}{mv}$　　C. $\frac{3P}{mv}$　　D. $\frac{4P}{mv}$

11. 一木块静止在光滑水平面上,被水平方向飞来的子弹击中,子弹进入木块的深度为 2cm,木块相对于桌面移动了 1cm,设木块对子弹的阻力恒定,则产生的热能和子弹损失的动能之比是(　　)

A. 1:1　　B. 2:3　　C. 1:2　　D. 1:3

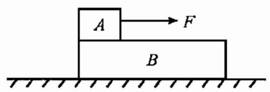
12. 如图所示,木块 A 放在木板 B 上左端,用恒力 F 将 A 拉至 B 的右端. 第一次将 B 固定在地面上,F 做功为 W_1,产生热量为 Q_1;第二次让 B 可以在光滑地面上自由滑动,这次 F 做的功为 W_2,产生的热量为 Q_2,则应有(　　)

A. $W_1 < W_2, Q_1 = Q_2$

B. $W_1 = W_2, Q_1 = Q_2$

C. $W_1 < W_2, Q_1 < Q_2$

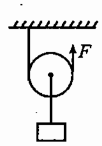
D. $W_1 = W_2, Q_1 < Q_2$



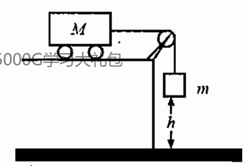
二、填空题(每小题 4 分,共 24 分)

13. 喷水池喷出的竖直向上的水柱高 $h = 5$m,空中有水 20dm^3,空气阻力不计,则喷水机做功的功率为________W(g 取 10m/s^2).

14. 如图所示,重物的质量为 1kg,动滑轮及绳子的质量不计,竖直向上拉绳,重物从静止开始以 5m/s^2 的加速度上升,则拉力 F 在 1s 末的即时功率为________(g 取 10m/s^2).

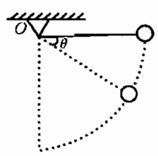


15. 如图所示,在光滑水平桌面上有一质量为 M 的小车,小车跟绳一端相连,绳子另一端通过滑轮吊一个质量为 m 的砝码,则当砝码着地的瞬间(小车未离开桌面)小车速度大小为________,在这一过程中,绳子的拉力对小车所做的功为________.

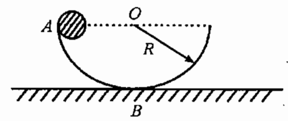


16. 某物体以 60J 的初动能,在 A 点被竖直向上抛出,在它上升到某一高度的过程中,物体的动能损失 50J,机械能损失 10J. 设物体所受的阻力恒定,则物体回到 A 点时动能为________J.

17. 如图所示,一小球系于细绳的一端,细绳另一端悬于 O 点,将小球拉紧并使细绳处于水平状态,静止起释放小球,取小球摆动的最低点为零势能点,则小球摆到细线与水平方向夹角 $\theta =$________时,小球的动能和势能相等.



18. 如图所示,半径为 $R = 1$m 的空心半球形容器,开口向上,固定在水平地面上,与地面相切于 B 点,容器开口所在平面与水平地面平行. 现将质量为 2kg 的小滑块,从容器上的 A 点由静止释放开始沿半球形容器的内壁下滑,滑块经过 B 点时的速度 $v_B = 3$m/s,则滑块从 A 点滑到 B 点的过程中阻力做的功为________J;该滑块在这一过程中所受到的平均阻力为________N;滑块经过 B 点时,对容器底部的压力大小为________N.



三、计算题(共 28 分)

19. (18 分,2009 · 北京卷)(1)如图 1 所示,ABC 为一固定在竖直平面内的光滑轨道,BC 段水平,AB 段与 BC 段平滑连接。质量为 m_1 的小球从高为 h 处由静止开始沿轨道下滑,与静止在轨道 BC 段上质量为 m_2 的小球发生碰撞,碰撞前后两球的运动方向处于同一水平线上,且在碰撞过程中无机械能损失。求碰撞后小球 m_2 的速度大小 v_2;

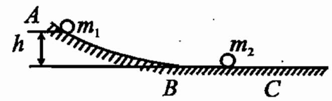


图 1

(2)碰撞过程中的能量传递规律在物理学中有着广泛的应用。为了探究这一规律,我们采用多球依次碰撞、碰撞前后速度在同一直线上、且无机械能损失的简化力学模型。如图 2 所示,在固定光滑水平直轨道上,质量分别为 m_1、m_2、m_3……m_{n-1}、m_n……的若干个球沿直线静止相间排列,给第 1 个球初动能 E_{k1},从而引起各球的依次碰撞。定义其中第 n 个球经过一次碰撞后获得的动能 E_{kn} 与 E_{k1} 之比为第 1 个球对第 n 个球的动能传递系数 k_{1n}。

a. 求 k_{1n};

b. 若 $m_1 = 4m_0$,$m_3 = m_0$,m_0 为确定的已知量。求 m_2 为何值时,k_{13} 最大。

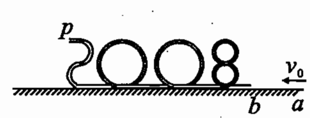


图 2

20. (10 分,2008 · 山东)某兴趣小组设计了如图所示的玩具轨道,其中"2008"四个等高数字用内壁光滑的薄壁细圆管弯成,固定在竖直平面内(所有数字均由圆或半圆组成,圆半径比细管的内径大得多),底端与水平地面相切. 弹射装置将一个小物体(可视为质点)以 $v_0 = 5$m/s 的水平初速度由 a 点弹出,从 b 点进入轨道,依次经过"8002"后从 p 点水平抛出. 小物体与地面 ab 段间的动摩擦因数 $\mu = 0.3$,不计其他机械能损失. 已知 ab 段长 $L = 1.5$m,数字"0"的半径 $R = 0.2$m,小物体质量 $m = 0.01$kg,$g = 10$m/s^2. 求:

(1)小物体从 p 点抛出后的水平射程.

(2)小物体经过数字"0"的最高点时管道对小物体作用力的大小和方向.





第五章

曲线运动

难点巧学

一、巧用"两边夹"确定物体的曲线运动情况

曲线运动是变速运动，从运动学的角度可以确定物体加速度与速度、轨迹之间的关系，也可以从动力学的角度确定合外力 F 与速度、轨迹之间的关系.

物体做曲线运动的轨迹不外乎以下三种情况：物体的加速度 a 与其速度 v 之间的夹角为锐角、直角或钝角. 所谓"两边夹"就是加速度（或合外力）与速度把轨迹夹在中间，即：物体做曲线运动的轨迹总在 a 与 v 两方向的夹角中，且和 v 的方向相切，向加速度一侧弯曲. 如下图 1 所示三种情况就是这样.

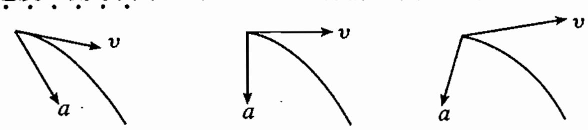


图 1

例 1 一质点在某恒力 F 作用下作曲线运动，图 2 中的曲线 AB 是该质点运动轨迹的一段，质点经过 A、B 两点时的速率分别为 v_A、v_B.

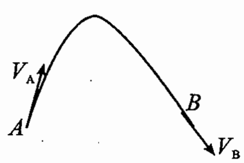


图 2

(1) 用作图法找出该恒力方向的可能范围.

(2) 该恒力的方向能否在过 A 点或 B 点的切线上？

(3) 该质点从 A 点到 B 点的过程中其速度大小如何变化？

(4) 若速率有变化，且 $v_A = v_B$，则速率最大或最小时在什么位置？

【巧解】 (1) 过 A、B 两点分别作曲线的切线①和③、法线②和④，如图 3 所示，从 A 点看，恒力 F 应在①线的右侧；从 B 点看 F 应在③线的左侧；因恒力的方向是不变的，故应同时满足上述两条件. 若平移③线过 A 点，则①、③两线之间箭头所指的区域即为 F 在 A 点的方向可能的范围.

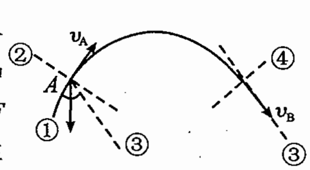


图 3

(2) 若 F 在①线上，则它与 v_A 在同一直线上，由于 F 为恒力，故质点不可能再做曲线运动，这说明 F 不可能在①线上. 若 F 在③线上，则在 A 点时 v_A 在垂直于 F 的方向上有分量，而到 B 点时垂直于③线的运动分量没有了，这与该方向上没有 F 分量相矛盾，故 F 不可能在③线上.

(3) 由于 F 在 A 点时与 v_A 夹角大于 90°，而在 B 点时与 v_B 夹角小于 90°，故质点的速率应该是先减小后增大.

(4) 由于已经判定速率为先减小后增大，且 v_A，v_B，则运动过程中速率有最小值，且发生在 F 与 v 垂直的位置.

二、效果法——运动的合成与分解的法宝

力的分解如果不考虑该力产生的效果，对求解往往影响不大；但运动的分解如果不考虑实际效果，就有可能得出错误的结论. 反之，若根据运动效果进行分解，会有意想不到的收获. 下面以一个曲线运动中常见的题型——"绳连物"模型为例进行说明.

例 2 如图 4 所示，在箱内倾角为 α 的固定光滑斜面上用平行于斜面的细线固定一质量为 m 的木块. 求：(1) 箱以加速度 a 匀速上升，(2) 箱以加速度 a 向左匀加速运动时，线对木块的拉力 F_1 和斜面对箱的压力 F_2 各多大？

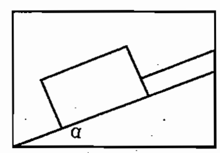


图 4

【巧解】 加速度分解法、正交分解法

F_1、F_2 分别为绳对物体拉力和斜面对箱的压力，当

(1) a 向上时，由于箱受的合外力竖直向上，重力竖直向下，所以 F_1、F_2 的合力 F 必然竖直向上，如图 5 示. 可先求 F，

$F - mg = ma$ ……………… ①

再由 $F_1 = F\sin\alpha$ ……… ②

$F_2 = F\cos\alpha$ ………… ③

求解，得到：$F_1 = m(g + \alpha)\sin\alpha$，

$F_2 = m(g + \alpha)\cos\alpha$

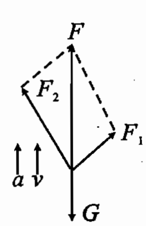


图 5

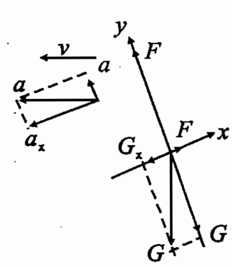


图 6

(2) a 向左时，箱受的三个力都不和加速度在一条直线上，必须用正交分解法. 可选择沿斜面方向和垂直于斜面方向进行正交分解力，（同时正交分解 a），如图 6 示. 分别沿 x、y 轴列方程

$mg\sin\alpha - F_1 = max$ ………④

$F_2 - mg\cos\alpha = may$　　⑤

解得 $F_1 = m(g\sin\alpha - a\cos\alpha)$，$F_2 = m(g\cos\alpha + a\sin\alpha)$

讨论：还应该注意到 F_1 的表达式 $F_1 = m(g\sin\alpha - a\cos\alpha)$ 显示其有可能得负值，这意味绳对木块的力是推力，这是不可能的. 这里又有一个临界值的问题：当向左边的加速度 $a \leq g\tan\alpha$ 时，$F_1 = m(g\sin\alpha - a\cos\alpha)$ 沿绳向斜上方；当 $\alpha > g\tan\alpha$ 时，木块和斜面不再保持相对静止，而是相对于斜面向上滑动，绳子松弛，拉力为零.

三、平抛运动中的"二级结论"有妙用

解决平抛及类平抛运动问题，重在把握水平方向的匀速运动和竖直方向初速为零的匀加速直线运动的独立性、等时性、等效性，充分利用矢量三角形、勾股定理、三角函数等知识解答. 特别提醒：①强调落点的问题必须抓住两个分位移之间的关系. ②强调末速度的"大小"或"方向"（特别是"方向"）的问题必须抓住两个分速度之间的关系.

另外，记住以下三个"二级结论"会让我们在今后解决平抛及类平抛运动问题中收到意想不到的效果，结论如下.

结论一：做平抛（或类平抛）运动的物体在任一时刻任一位置处，设其末速度方向与水平方向的夹角为 θ，位移与水平方向的夹角为 β，则 $\tan\theta = 2\tan\beta$（其应用见"活题巧解"例 6）

结论二：做平抛（或类平抛）运动的物体任意时刻瞬时速度的反向延长线一定通过此时水平位移的中点. 如图 7 中 A 点和 B 点.（其应用见"活题巧解"例 6）

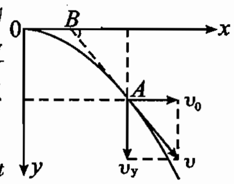


图 7

结论三：平抛运动的物体经过时间 t 后，位移 s 与水平方向的夹角为 β，则此时的动能与初动能的关系为 $E_{kt} = E_{k0}(1 + 4\tan^2\beta)$（待高一下学期用）

四、建立"$F_{供} = F_{需}$"关系，巧解圆周运动问题

在匀速圆周运动中合外力一定等于物体所需的向心力；在变速圆周运动中，合外力沿半径方向的分力提供向心力. 但有一个问题我们极易出错又始终感到不好理解，即：做曲线运动的物体实际受到的力沿半径方向的分力（$F_{供}$）并不一定等于物体所需的向心力（$F_{需} = m\dfrac{v^2}{R}$）. 例如，当 $F_{供} > F_{需}$ 时，物体做向心运动；当 $F_{供} = F_{需}$ 时，物体就做圆周运动；当 $F_{供} < F_{需}$ 时，即物体所受的力不足于维持它做圆周运动，物体做离心运动. 因此，我们在分析物体是否能做圆周运动时，必须弄清 $F_{供}$ 与 $F_{需}$ 的关系，活用临界条件法、等效法，类比法等列方程求解.

例 3　设一运动员和自行车的总质量为 m，自行车与地面的动摩擦因素为 μ，自行车做圆周运动的轨道半径为 R，自行车平面偏离竖直方向的角度为 θ，转弯速度为 v，地面支持力为 N. 问：自行车要顺利转弯，须满足什么条件？

【巧解】　要使自行车顺利转弯，必须解决两个问题：一是不向外滑动，二是不发生翻倒.

（1）转弯速度——不向外滑动的临界条件

自行车转弯所需向心力由地面的静摩擦力提供，不向外滑动的条件是所需向心力不超出最大静摩擦力，即 $F_n \leq \mu mg$，根据牛顿第二定律有 $\mu mg = m\dfrac{v_{max}^2}{R}$，所以，最大转弯速度为 $v_{max} = \sqrt{\mu gR}$

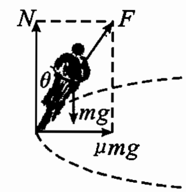


图 8

（2）临界转弯倾角——不翻倒的临界条件

自行车不翻倒的条件，是质心受到的合力矩为零. 如图 8 所示，即向内倾斜而又不滑动、也不翻倒的临界条件是支持力 N 与最大静摩擦力 f_{max} 的合力通过质心. 根据三角函数关系，临界转弯倾角 $\tan\theta = \dfrac{f_{max}}{N} = \mu = \dfrac{v_{max}^2}{Rg}$，$\theta = \tan^{-1}\mu = \tan^{-1}\dfrac{v_{max}^2}{R}$

【答案】　必须同时满足两个条件，即速度不超过 $\sqrt{\mu gR}$，自行车平面与竖直方向的夹角等于 $\tan^{-1}\dfrac{v_{max}^2}{R}$

五、把握两个特征，巧学圆周运动

1. 圆周运动的运动学特征问题

此类问题，需同学们熟练掌握描述圆周运动的线速度、角速度、向心加速度、周期、频率、转速等物理量及其关系，同时，要抓住一些"过渡桥梁". 例如：凡是直接用皮带传动（包括链条传动、摩擦传动）的两个轮子，在不考虑打滑的情况下，两轮边缘上各点的线速度大小相等；凡是同一轮上的各点角速度相等（轴上的点除外）

2. 圆周运动的动力学特征及分析与求解

圆周运动的动力学特征为 $F_{向} = m\dfrac{v^2}{R}$. 具体在解决问题时，要注意以下三点：

①确定研究对象的轨道平面和圆心的位置. 例如火车转弯时，其轨道平面是在水平面内而不是在斜面上. 在水平放置的半球形碗内壁上做圆周运动的小球，其轨道平面为水平面，圆心在轨道圆平面上，而不是在球心.

②向心力不是与重力、弹力、摩擦力等并列的"性质力"，而是据效果命名的"效果力"，故在分析做圆周运动的质点受力时，切不可在性质力上再添加一个向心力.

③坐标系的建立：应用牛顿第二定律解答圆周运动问题时，常用正交分解法，其坐标原点是做圆周运动的物体（视为质点）所在的位置，相互垂直的两个坐标轴中，其中一个坐标轴的方向一定沿半径指向圆心.

六、现代科技和社会热点问题——STS 问题

这类试题往往利用物理新模型将教材中难度不大、要求不高，但属重点内容的基础知识及与其相关的例题、习题加以有效拼接，演变成各种立意新颖，设计科学的题目，从更高层次上考查学生对所学基础知识的掌握程度和迁移能力、综合能力、创新能力. 这类题具有"高起点、低落点"的特点，起点高是指科技成果新，题型新颖、独特，为题海所无法包容；落点低是指完成这些题目所需的基础知识不超纲. 现举两例说明此类题目的巧解.

例4 从空间同一点 O,同时向各个方向以相同的速率抛出许多小球,不计空气阻力,试证明在这些球都未落地之前,它们在任一时刻的位置可构成一个球面.

【巧证】 假设在 O 点另有一个小球 A,当所有小球被抛出的那一瞬间,让 O 点处的这个假设小球做自由落体运动(这是解答本题最关键的一步).

因为作抛体运动的所有小球与假设做自由落体运动的小球 A 的加速度都相等(都等于重力加速度),所以,做抛体运动的各小球相对于 A 球都做匀速直线运动,其位移(注意:是相对于做自由落体运动的小球 A 的位移)的大小都是 $s=v_0t$(v_0 为各小球抛出时的初速率,t 为小球运动的时间),也就是说,在同一时刻,各小球与 A 的距离都相等,因各小球在同一时刻在空中的位置可构成一个球面,这个球面的半径为 $R=v_0t$. 可见,不同时刻,这些小球的位置构成不同球面,当然,这些球面的球心就是假设做自由落体运动的小球 A.

由以上解答也可解释节日的夜晚燃放的烟花在空中为什么是球形的.

例5 (2011·武汉模拟)早在 19 世纪,匈牙利物理学家厄缶就明确指出:"沿水平地面向东运动的物体,其重量,即:列车的视重或列车对水平轨道的压力一定要减轻."后来,人们常把这类物理现象称之为"厄缶效应".

我们设想,在地球赤道附近的地平线上,有一列车质量是 m,正在以速度 v 沿水平轨道向东匀速行驶. 已知地球的半径 R 及地球自转周期 T. 今天我们像厄缶一样,如果仅仅考虑地球自转的影响,火车随地球做线速度为 $\frac{2\pi R}{T}$ 的圆周运动时,火车对轨道的压力为 F_N;在此基础上,又考虑到这列火车相对地面附加了一个线速度更快的匀速圆周运动,并设此时火车对轨道的压力为 F_N',那么,单纯地由于该火车向东行驶而引起火车对轨道压力减轻的数量 F_N-F_N'为(　　)

更多资料干货 关注微信公众号 学习第一线 赠送5000G学习大礼包

A. $m\frac{v_2}{R}$　　　　B. $m[\frac{v^2}{R}+2(\frac{2\pi}{T})v]$

C. $m(\frac{2\pi}{T})^2v^2$　　　　D. $m[\frac{v^2}{R}+(\frac{2\pi}{T})v]$

【巧解】 构建物理模型法

把火车看作一个质点在向东绕地心做匀速圆周运动,向心力由地球对火车的引力 $F_引$ 和地面对火车支持力的合力提供,根据牛顿第二定律得 $F_引-F_N=m(\frac{2\pi R}{T})^2/R$,$F_引-F_N'=m(\frac{2\pi R}{T}+v)^2/R$,联立求解得:$F_N-F_N'=m[\frac{v^2}{R}+2(\frac{2\pi}{T})v]$

【答案】 B

活题巧解

例1 (2011·宣武区)一质点在 xoy 平面内运动的轨迹如图 9 所示,下面关于其分运动的判断正确的是(　　)

A. 若在 x 方向始终匀速运动,则在 y 方向先加速后减速运动

B. 若在 x 方向始终匀速运动,则在 y 方向先减速后加速运动

C. 若在 y 方向始终匀速运动,则在 x 方向一直加速运动

D. 若在 y 方向始终匀速运动,则在 x 方向一直减速运动

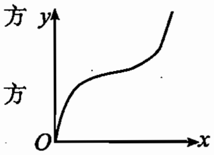


图 9

【巧解】 类比法

本题可从动力学的角度确定外力与速度方向改变的关系,即:物体做曲线运动的轨迹总在加速度与速度矢量的夹角中,且和速度的方向相切,向加速度一侧弯曲. 再和平抛运动的动力学特点类比,可知 B 对.

【答案】 B

例2 (2011·南京模拟)小河宽为 d,河水中各点水流速度大小与各点到较近河岸边的距离成正比,$v_水=kx$,$k=4v_0/d$,x 是各点到近岸的距离. 小船船头垂直河岸渡河,小船划水速度为 v_0,则下列说法中正确的是(　　)

A. 小船渡河的轨迹为曲线

B. 小船到达离河岸 $d/2$ 处,船渡河的速度为$\sqrt{5}v_0$

C. 小船渡河时的轨迹为直线

D. 小船到达离河岸 $3d/4$ 处,船渡河的速度为 $\sqrt{10}v_0$

【巧解】 速度合成法

由于小船划水速度为 v_0 不变,水流速度先变大再变小,河中间为其速度大小变化的转折点,故其合速度的大小及方向在不断的变化,可见其轨迹为曲线;在河中间时小船的渡河速度应为$\sqrt{5}v_0$,到达离河岸 $3d/4$ 处时,水流速度为 v_0,船渡河的速度应为$\sqrt{2}v_0$,故正确选项为 A、B.

【答案】 AB

例3 甲、乙两船从同一地点渡河,甲船以最短时间过河,乙船以最短航程过河,结果甲、乙到达对岸同一地点. 设甲、乙两船在静水中的速度分别为 $v_甲$、$v_乙$ 并保持不变,求它们到达对岸所用时间之比 $t_甲:t_乙=?$

【巧解】 矢量图解法

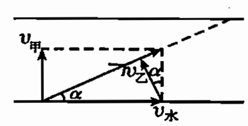


图 10

由题意可知,甲、乙航线相同,设它们合速度与河岸的夹角为 α,航程为 S,如图 10 所示. 则对甲有 $t_甲=\frac{S}{v_甲/\sin\alpha}$(1),作出乙的速度矢量图如图,由图可知,要使乙的航程最短,$v_乙$ 与航线必定垂直,所以 $t_乙=\frac{S}{v_乙/\tan\alpha}$(2)由(1)(2)两式得$\frac{t_甲}{t_乙}=\frac{v_乙\sin\alpha}{v_甲\tan\alpha}=\frac{v_乙\cos\alpha}{v_甲}$,再由几何知识得 $\cos\alpha=\frac{v_乙}{v_甲}$,$\therefore\frac{t_甲}{t_乙}=\frac{v_乙}{v_甲}\cos\alpha=\frac{v_乙^2}{v_甲^2}$

【答案】 $\frac{t_甲}{t_乙}=\frac{v_乙^2}{v_甲^2}$

例4 (2005·上海卷)如图 11 所示的塔吊臂上有一可以沿水平方向运动的小车 A,小车下吊着装有物体 B 的吊钩. 在小

车 A 与物体 B 以相同的水平速度沿吊臂方向匀速运动的同时，吊钩将物体 B 向上吊起，A、B 之间距离以 $d=H-2t^2$（式中 H 为吊臂离地面的高度）的规律变化，则物体做（　　）

A. 速度大小不变的曲线运动；

B. 速度大小增加的曲线运动；

C. 加速度大小方向均不变的曲线运动；

D. 加速度大小方向均变化的曲线运动.

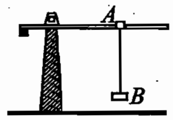


图 11

【巧解】　构建模型法

物体在水平方向上随车一起做匀速直线运动. 而在竖直方向，A、B 间的距离满足 $d=H-2t^2$，即做初速为零的匀加速直线运动，类似平抛运动的模式. 过程中物体的水平速度不变，而竖直方向上加速度大小、方向均不变，C 正确. 向上的速度随时间均匀增大，由速度的合成可知，其速度大小也增大，B 正确，即选 B、C.

【答案】　B、C

例5　如图 12 所示，与水平面的夹角为 θ 的直角三角形木块固定在地面上，有一质点以初速度 v_0 从三角形木块的顶点上水平抛出. 试求质点距斜面的最远距离.

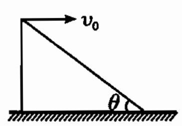


图 12

【巧解】　定理法

当质点做平抛运动的末速度方向平行于斜面时，质点距斜面的距离最远. 此时末速度方向与初速度方向成 θ 角，如图 13 所示中 A 为末速度的反向延长线与水平位移的交点，AB 即为所求的最远距离.

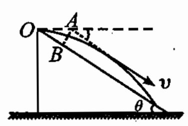


图 13

更多资料干货 关注微信公众号 学习第一线 赠送5000G学习大礼包

根据平抛运动规律有 $v_y=gt$，$x=v_0t$ 和 $\frac{v_y}{v_0}=\tan\theta$，由平抛运动的“二级结论”可知：$\overline{OA}=\frac{x}{2}$，据图中几何关系可得：$\overline{AB}=\overline{AO}\sin\theta$，解以上各式得：$\overline{AB}=\frac{v_0^2\tan\theta\sin\theta}{2g}$ 此式即为质点距斜面的最远距离

【答案】　$\overline{AB}=\frac{v_0^2\tan\theta\sin\theta}{2g}$

例6　一质量为 m 的小物体从倾角为 30°的斜面顶点 A 水平抛出，落在斜面上 B 点，若物体到达 B 点时的速度为 21m/s，试求小物体抛出时的初速度为多大？（不计运动过程中的空气阻力）

【巧解】　定理法

由题意作出图 14，末速度与水平方向夹角设为 α，斜面倾角设为 β. 根据平抛运动的“二级结论”可得 $\tan\alpha=2\tan\beta$，$\beta=30°$，所以 $\tan\alpha=2\frac{\sqrt{3}}{3}$，由三角知识可得：

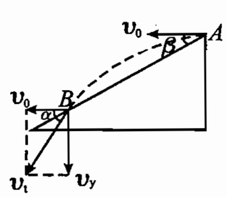


图 14

$\cos\alpha=\frac{3}{\sqrt{21}}$，又因为 $v_t=\frac{v_0}{\cos\alpha}$，所以初速度 $v_0=v_t\cos\alpha=3\sqrt{21}$m/s

【答案】　初速度为 $3\sqrt{21}$m/s

例7　如图 15，AB 为斜面，BC 为水平面，从 A 点分别以 v_0、$3v_0$ 的速度水平抛出的小球，落点与抛出点之间的水平距离分别为 S_1，S_2. 不计空气阻力，则 S_1:S_2 可能为（　　）

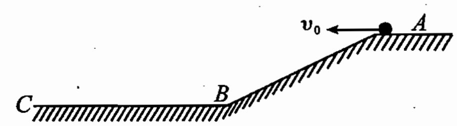


图 15

A. 1:3　　B. 1:4　　C. 1:8　　D. 1:10

【巧解】　极限推理法

本题考虑小球落点的不确定性，有三种情况. 现分析如下.

①当两球均落在水平面上时，因为运动时间相同，∴ S_1:S_2 = 1:3

②当两球均落在斜面上时，设斜面倾角为 θ，则有 $S_1=v_0t_1$，$S_2=3v_0t_2$，$S_1\tan\theta=\frac{1}{2}g\,t_1^{\,2}$，$S_2\tan\theta=\frac{1}{2}g\,t_2^{\,2}$，由以上方程解得 S_1:S_2 = 1:9

③当一球落在斜面，另一球落在水平面时，可由极限推理法分析出 S_1 与 S_2 的比值介于 1:3 与 1:9 之间

【答案】　A、B、C

例8　如图 16 所示，两支手枪在同一位置沿水平方向射出两颗子弹，打在 100m 远处的靶上，两弹孔在竖直方向上相距 60 厘米，A 为甲枪所击中，B 为乙枪所击中. 若甲枪子弹的出膛速度是 500m/s，求乙枪子弹离开枪口的速度.（不计空气阻力，g 取 10m/s²）

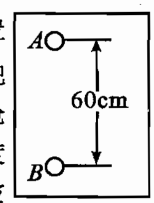


图 16

【巧解】　解析法

甲枪子弹运行时间 $t_甲=\frac{L}{v_甲}=0.2$s，甲枪竖直位移 $h_甲=\frac{1}{2}gt_甲^2=0.2$m，则乙枪子弹竖直位移 $h_乙=\frac{1}{2}gt_乙^2=h_甲+0.6$，解得 $t_乙=0.4$s，∴ 乙枪子弹离开枪口的速度 $v_乙=\frac{L}{t_乙}=250$m/s

【答案】　250m/s

例9　（2010 北京卷）如图 17，跳台滑雪运动员经过一段加速滑行后从 O 点水平飞出，经过 3.0s 落到斜坡上的 A 点. 已知 O 点是斜坡的起点，斜皮与水平面的夹角 θ = 37°，运动员的质量 m = 50kg. 不计空气阻力.（取 sin37° = 0.60，cos37° = 0.80；g 取 10m/s²）求

(1) A 点与 O 点时的距离 L；

(2) 运动员离开 O 点时的速度大小；

(3) 运动员落到 A 点时的动能.

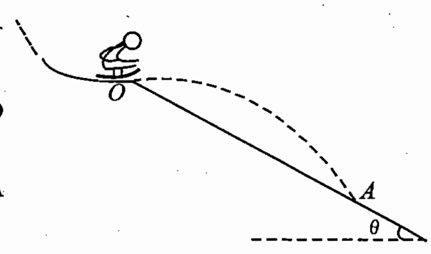


图 17

【巧解】　运动的正交分解法

将滑雪运动员的位移 OA 正交分解为水平向右的位移 x 和

竖直向下的位移 y，如图 18 所示.

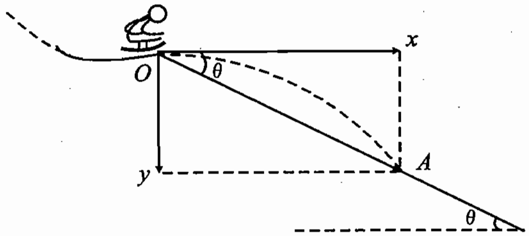


图 18

(1) $\sin\theta = \frac{y}{L}$……①

$y = \frac{1}{2}gt^2$……②

由①②两式可得 L = 75m.

(2) $\tan\theta = \frac{y}{x}$……③

$x = v_0 t$……④

由②③④三式可得 $v_0 = 20m/s$.

(3) 由动能定理有

$mgy = E_{kA} - E_{k0}$

所以 $E_{kA} = mgy + E_{k0} = 32500J$.

例 10 (2011·广东调研) 如图 19 所示，小球在光滑斜面上 A 点以初速度 v_0 向右抛出，落在斜面底端 B 点，设从 A 点到 B 点沿 v_0 方向的位移为 x_1. 去掉斜面，小球从 A 点仍然以 v_0 的初速度向右抛出，落在地面上的 C 点，设水平位移为 x_2. 则有(　　)

更多资料下载 关注微信公众号 学习第一线 赠送5000G学习大礼包

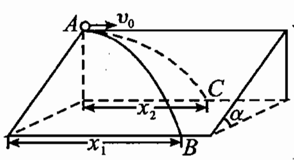


图 19

A. $x_1 > x_2$

B. $x_1 = x_2$

C. $x_1 < x_2$

D. 以上三种情况都有可能

【巧解】 类比法

设 A 点到地面的高为 h，斜面倾角为 α. 球从 A 到 C，做平抛运动，根据平抛运动的规律可知：$x_2 = v_0 t_2$，$h = \frac{1}{2}g{t_2}^2$，由以上方程解得 $x_2 = v_0\sqrt{\frac{2h}{g}}$，球从 A 到 B，在斜面上做的是类平抛运动，加速度沿斜面向下，大小为 $a = g\sin\alpha$，类比平抛运动的规律可得 $x_1 = v_0 t_1$，$\frac{h}{\sin\alpha} = \frac{1}{2}g\sin\alpha t^2$，由以上方程解得 $x_1 = v_0\sqrt{\frac{2h}{g\sin^2\alpha}}$ 比较 x_1 和 x_2 可知 $x_1 > x_2$.

【答案】 A

例 11 图 20 所示的斜面上有 P、R、S、T 四个点，PR = RS = ST，从 P 点正上方的 Q 点以速度 v 水平抛出一个物体，物体落于 R 点，若从 Q 点以速度 2v 水平抛出一个物体，不计空气阻力，则物体落在斜面上的(　　)

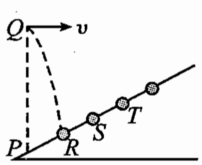


图 20

A. R 与 S 之间某一点　　B. S 点

C. S 与 T 之间某一点　　D. T 点

【巧解】 演绎法

此题如果定量计算会很繁琐，而根据平抛运动的规律定性推理却很容易，又好理解.

物体落到 R 点时，设水平位移为 L. 速度加倍时，如果运动时间不变，水平位移 x = 2L，落点刚好在 S 点，但事实上由于竖直方向下落高度减小，运动时间减少了，所以水平位移 x 小于 2L，即落在斜面上 R 与 S 之间. 故选 A.

【答案】 A

例 12 (2011·黄冈模拟) 从空中同一点沿水平方向同时抛出两个小球，他们初速度大小分别为 v_1、v_2，初速度方向相反. 求经过多长时间两小球速度间的夹角为 90°？

【巧解】 矢量图解法

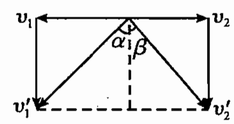


图 21

设两小球抛出后经过时间 t 它们速度之间的夹角为 90°，此时它们与竖直方向的夹角分别为 α 和 β. 对两小球分别构建速度矢量三角形如图 21 所示，依图可得 $\cot\alpha = \frac{gt}{v_1}$，$\tan\beta = \frac{v_2}{gt}$(1)，又∵ α + β = 90°，∴ $\cot\alpha = \tan\beta$(2)，由(1)(2)两式得到：$\frac{gt}{v_1} = \frac{v_2}{gt}$，即 $t = \frac{1}{g}\sqrt{v_1 v_2}$

【答案】 $\frac{1}{g}\sqrt{v_1 v_2}$

例 13 一固定的斜面倾角为 θ，一物体从斜面上的 A 点平抛并落到斜面上的 B 点，试证明物体落在 B 点的速度与斜面的夹角为定值.

【巧解】 运动的正交分解法.

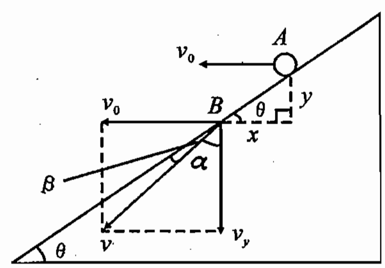


图 22

设物体的初速度为 v_0，到 B 点的速度为 v，依据平行四边形法则将 v 分解为水平分速度 v_0，竖直分速度为 v_y，v 与 v_y 的夹角为 α.

由几何关系：$\tan\alpha = \frac{v_0}{v_y} = \frac{x}{2y}$

又由几何关系：$\tan\theta = \frac{y}{x}$

所以：$\tan\alpha = \frac{1}{2\tan\theta}$，即 α 为定值.

物体落在 B 点的速度与斜面夹角 $\beta = (\frac{\pi}{2} - \theta) - \alpha$

因为 θ、α 为定值，所以 β 也为定值，即速度方向与斜面的夹角与平抛初速度无关，只与斜面的倾角有关.

例14　(2011·苏州模拟)如图 23 所示，用绳悬挂的链条由直径为 5cm 的圆环连接而成，枪管水平放置且跟环 4 的圆心在同一水平面上. $L=10$m，子弹出口速度 100m/s. 不计空气阻力，$g=10\text{m/s}^2$. 在子弹射出前 0.1s 烧断绳，子弹将穿过第几个环?

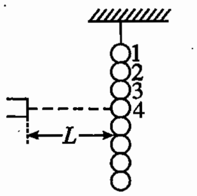


图 23

【巧解】　推理法

将子弹的平抛运动与链条的自由落体运动情况进行比较推理，子弹飞过水平距离 L 所用时间 $t=L/v_0=0.1$s，在 0.1s 内子弹竖直方向下降位移 $y=\frac{1}{2}gt^2=\frac{1}{2}\times10\times0.1^2=0.05$m. 绳断后环下降位移 $y'=\frac{1}{2}g(t+0.1)^2=0.2$m. 故子弹穿过环 1.

【答案】　穿过第 1 个环

例15　(2011·高考湖北湖南理综试题)一水平放置的水管，距地面高 $h=1.8$m，管内横截面积 $S=2.0\text{cm}^2$. 水从管口处以不变的速度 $v=2.0$m/s 源源不断地沿水平方向射出，设出口处横截面上各处水的速度都相同，并假设水流在空中不散开. 取重力加速度 $g=10\text{m/s}^2$，不计空气阻力. 求水流稳定后在空中有多少立方米的水.

【巧解】　模型法

这道题考查的物理思维方法主要是等效转换法. 我们将空中抛物线水柱的体积等效转换为在时间 $t=\sqrt{\frac{2h}{g}}$ 内从管中流出的水的体积，并设水柱不散开.

更多资料干货 关注微信公众号 学习第一线 赠送5000G学习大礼包

设水由喷口处到落地所用时间为 t，单位时间内水管喷出的水量为 Q，水流稳定后在空中水的总量为 v_0，根据题意有 $Q=Sv$，$v_0=Qt$，再根据自由落体运动的规律有 $h=\frac{1}{2}gt^2$，联立以上三式得 $v_0=Sv\sqrt{\frac{2h}{g}}$，代入数据得 $v_0=2.4\times10^{-4}\text{m}^3$

【答案】　$2.4\times10^{-4}\text{m}^3$

例16　有一直径为 d，高为 h，内壁光滑的钢筒，一小钢球以初速度 v_0 从筒上边缘 A 处水平抛出，与钢筒内壁发生无能量损失的碰撞后恰好又落到 A 点正下方水平面上的 B 点，如图 24(a)所示，求钢球与筒内壁的碰撞次数.

【巧解】　对称法

由于小球与筒壁发生的是无能量损失的碰撞，所以小球与筒壁第一次碰撞后向右作斜下抛运动，见图 24(b)所示，把 CD 所在的平面视为“镜面”，由平面镜的“物像对称性”，可把小球的整个过程等效于图中从 A' 点出发以 $v_0'=-v_0$ 的平抛运动. 设小球 ts 落地，则有 $h=\frac{1}{2}gt^2$，

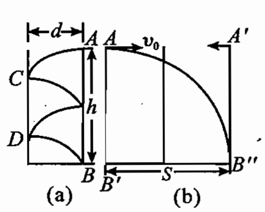


图 24

$\therefore t=\sqrt{\frac{2h}{g}}$(1)，$B'B''=S=v_0t=v_0\sqrt{\frac{2h}{g}}$(2)，设小球在筒内与内壁碰撞的次数为 n，则 $n=s/d=\frac{v_0}{d}\sqrt{\frac{2h}{g}}$

【答案】　$\frac{v_0}{d}\sqrt{\frac{2h}{g}}$

例17　雨伞边缘半径为 r，且高出地面为 h，若雨伞以角速度 ω 旋转，求雨滴自伞边缘甩出后落于地面成一大圆圈的半径 R.

【巧解】　几何法

由题意可知，这是一个立体运动问题，具有多视角性，如果选择恰当的视角将它转化为平面问题后，几何关系清楚地显示出来，便可确定物理量之间的关系

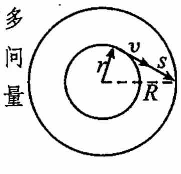


图 25

雨滴运动的俯视图如图，由图 25 可知：

$s=vt$，$h=\frac{1}{2}gt^2$ 及 $v=\omega r$，联合解得 $s=\sqrt{\frac{2h\omega^2r^2}{g}}$，由几何关系得 $R=\sqrt{s^2+r^2}=r\sqrt{1+\frac{2h\omega^2}{g}}$

【答案】　$r\sqrt{1+\frac{2h\omega^2}{g}}$

例18　(2011·武汉统考)某种变速自行车，有六个飞轮和三个链轮，如图 26 所示，链轮和飞轮的齿数如下表所示. 前后轮直径均为 660mm，人骑该车行进速度为 4m/s 时，脚踩踏板做匀速圆周运动的角速度最小值约为(　　)

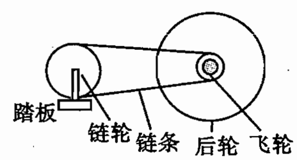


图 26

名称	链轮			飞轮					
齿数 N/个	48	38	28	15	16	18	21	24	28

A. 1.9rad/s　　B. 3.8rad/s　　C. 6.5rad/s　　D. 7.1rad/s

【巧解】　模型法

车行速度与前后轮边缘的线速度相等，故后轮边缘的线速度为 4m/s，后轮的角速度 $\omega=v/R\approx12$rad/s 飞轮与后轮为同轴装置，故飞轮的角速度 $\omega_1=\omega=12$rad/s 飞轮与链轮是用链条连接的，故链轮与飞轮线速度相同，所以 $\omega_1r_1=\omega_2r_2$，r_1 与 r_2 分别为飞轮和链轮的半径，因轮周长 $L=N\Delta L=2\pi r$，N 为齿数，ΔL 为两邻齿间的弧长，故 $r\propto N$，所以 $\omega_1N_1=\omega_2N_2$. 又踏板与链轮同轴，脚踩踏板的角速度 $\omega_3=\omega_2$，则 $\omega_3=\omega_1N_1/N_2$，要使 ω_3 最小，则 $N_1=15$，$N_2=48$，故 $\omega_3=12\times15/48\text{rad/s}=3.75\text{rad/s}\approx3.8$rad/s

【答案】　B

例19　(2011·湖北八校联考)有一种大型游戏器械，它是一个圆筒型大型容器，筒壁竖直，游客进入容器后靠筒壁站立，当圆筒开始转动后，转速加快到一定程度时，突然地板塌落，游客发现自己没有落下去，这是因为(　　)

A. 游客处于超重状态

B. 游客处于失重状态

C. 游客受到的摩擦力与重力平衡

D. 筒壁对游客的支持力与重力平衡

【巧解】 模式法

这是一种圆周运动模式题，人在水平方向做圆周运动，所受的支持力指向圆心，提供向心力．而在竖直方向受力平衡，即重力与摩擦力平衡．所以 C 对．

【答案】 C

例20 （2011·江苏南通）如图 27 所示，具有圆锥形状的回转器（陀螺），绕它的轴在光滑的桌面上以角速度 ω 快速旋转，同时以速度 v 向左运动，若回转器的轴一直保持竖直，为使回转器从桌子的边缘滑出时不会与桌子边缘发生碰撞，速度 v 至少应等于（设回转器的高为 H，底面半径为 R，不计空气阻力对回转器的作用）（　　）

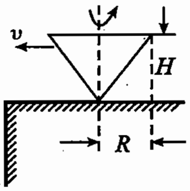


图 27

A. ωR　　B. ωH　　C. $R\sqrt{\frac{2g}{H}}$　　D. $R\sqrt{\frac{g}{2H}}$

【巧解】 临界条件法

回转器能否碰到桌子边缘与它转动情况无关，而是取决于它运动的速度和自身的形状，此题的临界条件是回转器的上缘刚好与桌缘碰到，如图 28 所示．

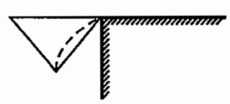


图 28

根据平抛运动的规律可得 $R = vt$，$H = \frac{1}{2}gt^2$，由上式解得 $v = R\sqrt{\frac{g}{2H}}$，即选 D．

更多资料干货 关注微信公众号 学习第一线 赠送5000G学习大礼包

【答案】 D

例21 有一种杂技表演叫“飞车走壁”，由杂技演员驾驶摩托车沿光滑圆台形表演台的侧壁高速行驶，做匀速圆周运动．图 29 中粗线圆表示摩托车的行驶轨迹，轨迹离地面高度为 h．下列说法中正确的是（　　）

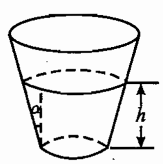


图 29

A. h 越高摩托车对侧壁的压力越大

B. h 越高摩托车做圆周运动的向心力将越大

C. h 越高摩托车做圆周运动的周期将越长

D. h 越高摩托车做圆周运动的线速度将越大

【巧解】 演绎法

设侧壁与竖直方向的夹角为 α，演员与摩托车受力如图 30 所示，由图可得侧壁对小球的支持力 $N = mg/\sin\alpha$，∴ 车对侧壁的压力不变，向心力 $F_n = mg/\tan\alpha$ 不变，由牛顿第二定律可知 $mg/\tan\alpha = mR(2\pi/T)^2$ 因为 h 越高，R 越大，所以周期 T 越长，再由 $mg/\tan\alpha = mv^2/R$ 可知，随着 R 增大，线速度 v 要增大．

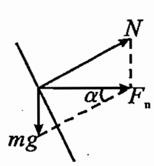


图 30

【答案】 C、D

例22 如图 31 所示，滑雪者滑到圆弧形的山坡处，圆弧的半径为 R，长度是圆周长的 1/4，为了能腾空飞起并直接落到地面上，滑雪者在坡顶的速度至少应为多少？这时落地点离坡顶的水平距离为多少？

【巧解】 临界条件法

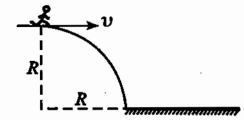


图 31

恰能腾空飞起时有 $mg = \frac{mv^2}{R}$ ∴ 在坡顶的最小速度为 $v = \sqrt{gR}$，由平抛运动的规律有 $R = \frac{1}{2}gt^2$，$S = vt$，∴ 落点距坡顶的水平距离为 $S = \sqrt{2}R$

【答案】 $\sqrt{gR}$，$\sqrt{2}R$

例23 如图 32(a) 所示，是双人花样滑冰运动中男运动员拉着女运动员做圆锥摆运动的精彩场面，若女运动员做圆锥摆运动时和竖直方向的夹角为 θ，女运动员的质量为 m，转动过程中女运动员的重心做匀速圆周运动的半径为 r，求这时男运动员对女运动员的拉力大小及两人转动的角速度．

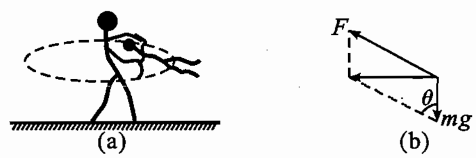


图 32

【巧解】 模型法

这是一个圆周运动模型问题，女运动员可看作一个质点，受力如图 32(b) 所示，由图可知，女运动员受拉力大小 $F = mg/\cos\theta$，由向心力公式可得 $mg\tan\theta = m\omega^2 r$，∴ 转动角速度 $\omega = \sqrt{\frac{g\tan\theta}{r}}$

【答案】 $mg/\cos\theta$，$\omega = \sqrt{\frac{g\tan\theta}{r}}$

例24 如图 33 所示，支架质量为 M，置于粗糙水平地面上，转轴 O 处悬挂一个质量为 m 的小球，悬线长为 L，当小球在竖直平面内做圆周运动时，支架始终不动．若小球到达最高点时，恰好支架对地无压力，求小球到达最高点时的速度大小．

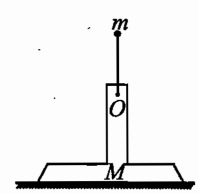


图 33

【巧解】 整体法

当小球到达最高点时存在向心加速度，设为 a，选支架和小球整体为研究对象，则由牛顿第二定律得 $(M+m)g = ma$，解得 $a = \frac{M+m}{m}g$，又据向心加速度公式 $a = \frac{v^2}{L}$，解得小球到达最高点时的速度大小 $v = \sqrt{aL} = \sqrt{\frac{M+m}{m}gL}$

【答案】 $v = \sqrt{\frac{M+m}{m}gL}$

第五章　曲线运动综合测试

一、选择题(每小题 4 分,共 40 分)

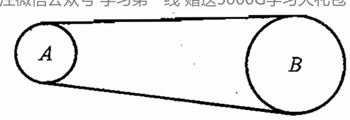
1. 一个物体初速度为 v_0,在恒力作用下可能做(　　)
   A. 匀速运动　　B. 匀速圆周运动
   C. 变加速运动　　D. 曲线运动

2. 关于平抛运动的性质,以下说法正确的是(　　)
   A. 变加速运动
   B. 匀变速运动
   C. 匀速曲线运动
   D. 不可能是两个直线运动的合运动

3. 在水平方向上匀速飞行的飞机上每隔相等的时间推出一个物体,这些物体在空中的运动的情况,下列叙述正确的是(　　)
   A. 地面上的观察者看到这些物体在空中排成一条直线,它们都做直线运动
   B. 地面上的观察者看到这些物体在空中排列在抛物线上,它们都做平抛运动
   C. 飞机上的观察者看到这些物体在空中排成一条直线,它们都做自由落体运动
   D. 飞机上的观察者看到这些物体在空中排列在抛物线上,它们都做自由落体运动

4. 如图所示,在皮带传送装置中,主动轮 A 和从动轮 B 半径不等,皮带与轮之间无相对滑动,则下列说法中正确的是(　　)

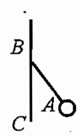
更多资料干货 关注微信公众号 学习第一线 赠送5000G学习大礼包



   A. 两轮的角速度相等
   B. 两轮边缘的线速度大小相同
   C. 两轮边缘的向心加速度大小相同
   D. 两轮转动的周期相同

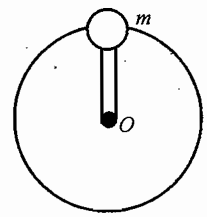
5. 水平抛出一个物体,t 时间后物体的速度与水平方向的夹角为 θ,重力加速度为 g,则平抛物体的初速度的大小为(　　)
   A. $gt\sin\theta$　　B. $gt\cos\theta$
   C. $gt\tan\theta$　　D. $gt\cot\theta$

6. 如图所示,细绳 AB 的一端拴一个小球,另一端拴在一根竖直放置的轴上,如图所示,当轴和小球共同旋转时,小球做匀速圆周运动,则小球做匀速圆周运动的向心力是(　　)



   A. 绳 AB 对它的拉力
   B. 轴 BC 对它的拉力
   C. 球的重力
   D. 绳 AB 的拉力和球的重力的合力

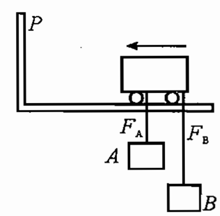
7. 如图所示,一轻杆一端固定一质量为 m 的小球,以另一端 O 为圆心,使小球做半径为 R 的圆周运动,以下说法正确的是(　　)



   ①小球过最高点时,杆所受的弹力可以等于零
   ②小球过最高点时的起码速度为 $\sqrt{gR}$
   ③小球过最高点时,杆对球的作用力可以与球所受重力方向相反,此时重力一定大于杆对球的作用力
   ④小球过最高点时,杆对球的作用力一定与小球所受重力方向相反
   A. ①②　　B. ①③　　C. ①②③　　D. ②④

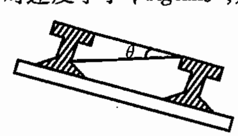
8. 下列说法中正确的是(　　)
   A. 做曲线运动的物体如果速度大小不变,其加速度为零
   B. 如不计空气阻力,任何物体的运动都属匀变速运动
   C. 做圆周运动的物体,如果角速度很大,其线速度也一定大
   D. 做匀速圆周运动的物体所受合力必然时刻与其运动方向垂直

9. 如图所示,天车下吊着两个质量都是 m 的工件 A 和 B,系 A 的吊绳较短,系 B 的吊绳较长,若天车运动到 P 处突然停止,则两吊绳所受拉力 F_A、F_B 的大小关系是(　　)



   A. $F_A < F_B$　　B. $F_A > F_B$
   C. $F_A = F_B = mg$　　D. $F_A = F_B > mg$

10. 铁路在弯道处的内、外轨道高低是不同的,已知内外轨道对水平面倾角为 θ,如图所示,弯道处的圆弧半径为 R,若质量为 m 的火车转弯时速度小于 $\sqrt{Rg\tan\theta}$,则(　　)



   A. 内轨对车轮轮缘有挤压
   B. 外轨对车轮轮缘有挤压
   C. 这时铁轨对火车的支持力等于 $mg/\cos\theta$
   D. 这时铁轨对火车的支持力大于 $mg/\cos\theta$

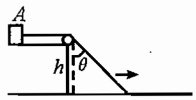
二、填空题(每小题 3 分,共 15 分)

11. 雨点以 8m/s 的速度竖直下落,雨中步行的人感到雨点与竖直成 30°角迎面打来,那么人走路的速度大小是________.

12. 水平抛出一物体,在 ts 末物体速度方向与水平方向成 37°角,在 $(t+1)$s 末物体速度方向与水平方向成 45°角,g 取 10m/

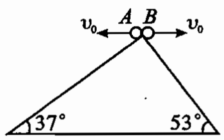
s^2,则物体抛出时水平速度大小为________m/s.

13. 如图所示,人以速度 v 沿水平地面匀速向右运动,人通过滑轮牵引高为 h 的平台上的物体 A 向右运动,当绳与竖直方向夹角是 θ 时,物体 A 的速度大小是________.



14. 质量为 m 的滑块从半径为 R 的半球型碗边向碗底滑动,滑到最低点时速度为 v,则物体滑到碗底时对碗的压力为_______. 若滑块与碗的动摩擦因数为 μ,这时滑块受到的摩擦力为________.

15. 如图所示,两斜面倾角为37°和53°,在顶点把两个小球以大小相等的初速度 v_0 分别向左、右水平抛出,小球都落在斜面上,若不计空气阻力,则 A、B 两球运动时间之比为________(取 sin37° = 0.6, cos37° = 0.8)



三、计算题(共65分)

16. (6分)以100m/s 的速度沿水平方向匀速飞行的飞机上,每隔2s 扔下一个物体,当第7个物体离开飞机时,第1个物体刚好着地. 求:

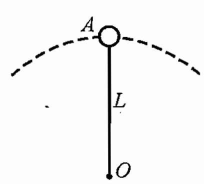
(1)飞机的飞行高度;

(2)此时第3个和第5个物体在空中的距离(不计空气阻力,g 取 $10m/s^2$).

17. (6分)如图所示,长度为 $L = 0.5m$ 的轻杆,其下端固定于转轴 O,上端连接质量为 $M = 2.0kg$ 的物体 A,物体 A 随着轻杆一起绕 O 点在竖直平面内做圆周运动,求在最高点时下列两种情况下球对轻杆的作用力.

(1)A 球的速率为1.0m/s;

(2)A 球的速率为4.0m/s.

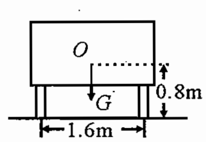


18. (13分)如图所示,一辆汽车质量 $m = 2\times10^3kg$,重心离地面 $h = 0.8m$,两车轮间的距离 $a = 1.6m$,轮与地面间动摩擦因数 $\mu = 0.4$,当车以 $v = 8m/s$ 的速度在半径 $R = 64m$ 的圆弧水平弯道上行驶时,求:

(1)所需的向心力;

(2)内、外胎所受弹力;

(3)车不致向外侧滑移的最大速度.

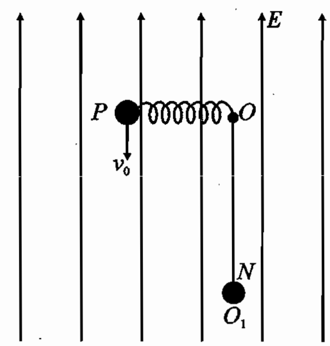


19. (20分,2009·四川卷)如图所示,轻弹簧一端连于固定点 O,可在竖直平面内自由转动,另一端连接一带电小球 P,其质量 $m = 2\times10^{-2}kg$,电荷量 $q = 0.2C$。将弹簧拉至水平后,以初速度 $v_0 = 20m/s$ 竖直向下射出小球 P,小球 P 到达 O 点的正下方 O_1 点时速度恰好水平,其大小 $v = 15m/s$。若 O、O_1 相距 $R = 1.5m$,小球 P 在 O_1 点与另一由细绳悬挂的、不带电的、质量 $M = 1.6\times10^{-1}kg$ 的静止绝缘小球 N 相碰。碰后瞬间,小球 P 脱离弹簧,小球 N 脱离细绳,同时在空间加上竖直向上的匀强电场 E 和垂直于纸面的磁感应强度 $B = 1T$ 的匀强磁场。此后,小球 P 在竖直平面内做半径 $r = 0.5m$ 的圆周运动。小球 P、N 均可视为质点,小球 P 的电荷量保持不变,不计空气阻力,取 $g = 10m/s^2$。那么

(1)弹簧从水平摆至竖直位置的过程中,其弹力做功为多少?

(2)请通过计算并比较相关物理量,判断小球 P、N 碰撞后能否在某一时刻具有相同的速度。

(3)若题中各量为变量,在保证小球 P、N 碰撞后某一时刻具有相同速度的前提下,请推导出 r 的表达式(要求用 B、q、m、θ 表示,其中 θ 为小球 N 的运动速度与水平方向的夹角)

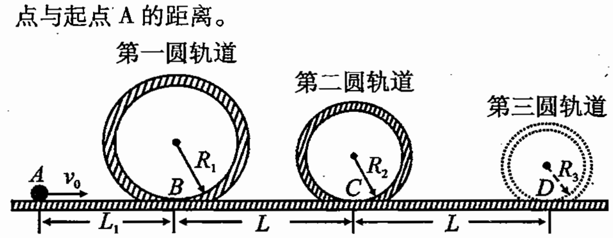


20. (20分,2009·安徽卷)过山车是游乐场中常见的设施。下图是一种过山车的简易模型,它由水平轨道和在竖直平面内的三个圆形轨道组成,B、C、D 分别是三个圆形轨道的最低点,B、C 间距与 C、D 间距相等,半径 $R_1 = 2.0m$、$R_2 = 1.4m$。一个质量为 m = 1.0kg 的小球(视为质点),从轨道的左侧 A 点以 $v_0 = 12.0m/s$ 的初速度沿轨道向右运动,A、B 间距 $L_1 = 6.0m$。小球与水平轨道间的动摩擦因数 $\mu = 0.2$,圆形轨道是光滑的。假设水平轨道足够长,圆形轨道间不相互重叠。重力加速度取 $g = 10m/s^2$,计算结果保留小数点后一位数字。试求

(1)小球在经过第一个圆形轨道的最高点时,轨道对小球作用力的大小;

(2)如果小球恰能通过第二个圆形轨道,B、C 间距 L 应是多少;

(3)在满足(2)的条件下,如果要使小球不脱离轨道,在第三个圆形轨道的设计中,半径 R_3 应满足的条件;小球最终停留点与起点 A 的距离。



第六章 万有引力与航天

难点巧学

一、巧用黄金代换式“$GM=R^2g$”

在地表的物体，由万有引力公式$\frac{GMm}{R^2}=mg$得$GM=R^2g$，此式我们常称为黄金代换式.巧用此式(特别是在没有告诉中心天体的质量，但又告诉或暗示了g值的情况下)往往给解题带来捷径.

例1 地球表面的平均重力加速度为g，地球的半径为R，万有引力恒量为G，可以用下面哪个式子来估算地球的平均密度(　　)

A. $3g/4\pi RG$　　B. $3g/4\pi R^2G$　　C. g/RG　　D. g/RG^2

【巧解】 由“$GM=R^2g$”得地球的质量$M=\frac{R^2g}{G}$，而地球的体积$V=\frac{4}{3}\pi R^3$，所以地球的密度$\rho=\frac{m}{V}=\frac{R^2g}{G}\times\frac{3}{4\pi R^3}=\frac{3g}{4\pi RG}$，选项A正确.

二、巧用“比例法”——解天体运动问题的金钥匙

在用万有引力公式解题时，我们常常会遇到较多没被告知的物理量，如巧用比例法将这些未知量消去，将给解题带来极大的方便.此法特别适合题设条件中已知量少的情况.

例2 两颗人造卫星A、B绕地球做圆周运动，周期之比为$T_A:T_B=1:8$，则轨道半径之比和运动速率之比分别为(　　)

A. $R_A:R_B=4:1$　$v_A:v_B=1:2$

B. $R_A:R_B=4:1$　$v_A:v_B=2:1$

C. $R_A:R_B=1:4$　$v_A:v_B=1:2$

D. $R_A:R_B=1:4$　$v_A:v_B=2:1$

【巧解】 设地球质量为M，卫星的质量为m，卫星的周期为T，轨道半径为R，卫星绕地球做圆周运动，万有引力提供向心力，故：对A有$\frac{GMm_A}{R_A^2}=m_A(\frac{2\pi}{T_A})^2\cdot R_A$　①

$\frac{GMm_A}{R_A^2}=m_A\frac{v_A^2}{R_A}$　②

对B有$\frac{GMm_B}{R_B^2}=m_B(\frac{2\pi}{T_B})^2R_B$　③

$\frac{GMm_B}{R_B^2}=m_B\frac{v_B}{R_B}$　④

由$\frac{①}{③}$得$\frac{R_A}{R_B}=\sqrt[3]{\frac{T_A^2}{T_B^2}}=\frac{1}{4}$

由$\frac{②}{④}$得$\frac{v_A}{v_B}=\sqrt{\frac{R_B}{R_A}}=\frac{2}{1}$

故此题选D

【答案】 D

三、巧解天体质量和密度的三种方法(以地球为例)

1. “g、R”计算法(黄金代换式法)

若已知地球的半径R和地球表面的重力加速度g，由黄金代换式可得：$M=\frac{R^2g}{G}$

则地球的密度$\rho=\frac{M}{V}=\frac{R^2g/G}{\frac{4}{3}\pi R^3}=\frac{3g}{4\pi GR}$

例3 (北京春季高考)地核的体积约为整个地球的16%，地核的质量为地球质量的34%，试估算地核的平均密度为________kg/m³(取两位有效数字)

【巧解】 设地球的半径为R，地球表面的重力加速度g，由黄金代换式得地球的质量$M=\frac{R^2g}{G}$

地球的密度$\rho=\frac{M}{V}=\frac{3g}{4\pi GR}$代入$G$、$R$、$g$、$\pi$的数值$\rho=\frac{3\times9.8}{4\times6.7\times10^{-11}\times3.14\times6.4\times10^6}kg/m^3=5.5\times10^3kg/m^3$

据题设$m_1=0.34m$，$V_1=0.16v$

地核的平均密度$\rho_1=\frac{m_1}{V_1}=\frac{0.34m}{0.16v}=\frac{0.34}{0.16}\rho=1.2\times10^4kg/m^3$

【答案】 为1.2×10^4

2. “v、r”计算法

已知某卫星绕地球作匀速圆周运动的线速度v和轨道半径r，根据$\frac{GMm}{r^2}=m\frac{v^2}{r}$得$M=\frac{rv^2}{G}$，则地球的密度$\rho=\frac{M}{V}=\frac{3rv^2}{4\pi GR^3}$

例4 (2011·青岛模拟)地球绕太阳运行的线速度$v=30$km/s，地球公转的半径是$R=1.5\times10^8$km，求太阳的质量.

【巧解】 太阳对地球的引力是地球绕太阳公转的向心力，即：

$G\frac{Mm}{r^2}=m\frac{v^2}{r}$得

太阳的质量$M=\frac{rv^2}{G}=\frac{1.5\times10^{11}\times(3\times10^4)^2}{6.67\times10^{-11}}kg=2.02\times10^{30}$kg

3. “T、r”计算法

已知地球和卫星(如月球)绕地球做匀速圆周运动的周期T和轨道半径r：

根据$\frac{GMm}{r^2}=m\frac{4\pi^2}{T^2}r$ 得 $M=\frac{4\pi^2r^3}{GT^2}$

地球的密度$\rho=\frac{M}{V}=\frac{3\pi r^3}{GT^2R^3}$

注:当$r=R$时,$\rho=\frac{3\pi}{GT^2}$,此时只需要测出卫星的周期,便可得知天体的密度.

例5 (2011·华师附中模拟)登月火箭关闭发动机在离月球表面112km的高空中沿圆形轨道运动,周期是120.5min,月球的半径为1740km,根据这组数据计算月球的质量和平均密度.

【巧解】 设月球半径为R,月球质量为M,密度为ρ,登月火箭轨道离月球表面为h高,运行周期为T,火箭质量为m,由于火箭运行时$F_{引}=F_{向}$,即:$\frac{GMm}{(R+h)^2}=m\frac{4\pi^2}{T^2}(R+h)$

得$M=\frac{4\pi^2(R+h)^3}{GT^2}=7.18\times10^{22}\text{kg}$,由$V=\frac{4\pi R^3}{3}$和$\rho=\frac{M}{V}$可得:$\rho=\frac{3M}{4\pi R^3}=2.7\times10^3\text{kg/m}^3$

注:在利用"g、R"法,"v、r"法,"T、r"法,估算天体质量时有些常识性的量需要当作已知量,如$g=9.8\text{m/s}^2$,地球自转周期$T_{地}=24$小时,月球公转周期$T_{月}\approx28$天等.

四、巧记同步卫星的特点——"五定"

①定轨道平面:轨道平面与赤道平面共面.

②定周期:与地球自转周期相等,即$T=24h$.

③定高度:由$\frac{GMm}{(R+h)^2}=m(R+h)\frac{4\pi^2}{T^2}$得同步卫星离地面

更多资料干货 关注微信公众号 学习第一线 赠送5000G学习大礼包

高$h=\sqrt[3]{\frac{GMT^2}{4\pi^2}}-R\approx3.6\times10^4\text{km}$

④定速率:同步卫星的速率为$v=(R+h)\frac{2\pi}{T}$

⑤定角速度:由$\omega=\frac{2\pi}{T}\approx7.3\times10^{-5}\text{rad/s}$得同步卫星角速度恒定.

活题巧解

例1 地球与火星的质量之比为9:1,半径之比为2:1,则在火星上发射卫星所需的最小速度是(设地球上的第一宇宙速度为v)( )

A. $\sqrt{2}v$ B. $\frac{\sqrt{2}}{3}v$ C. $\sqrt{3}v$ D. $\frac{3\sqrt{2}}{2}v$

【巧解】 比例法

由万有引力定律知:

在地球上有:$\frac{GMm}{r^2}=m\frac{v^2}{r}\Rightarrow v=\sqrt{\frac{GM}{r}}$ ①

在火星上有:$\frac{GM'm}{r'^2}=m\frac{v'^2}{r'}\Rightarrow v'=\sqrt{\frac{GM'}{r'}}$ ②

由②/①得$\frac{v'}{v}=\sqrt{\frac{M'r}{r'M}}=\sqrt{\frac{1\times2}{1\times9}}=\frac{\sqrt{2}}{3}$

【答案】 B

例2 设想地球为一均匀的球体,如果把物体放到地球的中心,则此物体与地球的万有引力为( )

A. 零 B. 无穷大

C. 与在地面上的重力相等 D. 无法确定

【巧解】 对称法

因地球是均匀的球体,在球体内(除球心)任取一点,均能在球体内找到与球心成中心对称的另一点,而这两点到球心的距离相等,对小球的万有引力大小相等,方向相反、合力为零,而且球内的每两对称点都具有此特性.所以,整个地球对物体的万有引力为零.

【答案】 A

例3 某星球表面的重力加速度为g,半径为R,则距此星球表面$h=0.5R$处的重力加速度为(不考虑星球的自转)( )

A. $\frac{2}{3}g$ B. $\frac{3}{2}g$ C. $\frac{9}{4}g$ D. $\frac{4}{9}g$

【巧解】 比例法

设星球的质量为M,则$mg=\frac{GMm}{r^2}$

即$g=\frac{GM}{r^2}\begin{cases}在星球表面处\ g=\frac{GM}{R^2} & ①\\ 在\ h=0.5r\ 处\ g'=\frac{GM}{(R+0.5R)^2} & ②\end{cases}$

由②/①得$g'=\frac{4}{9}g$

【答案】 D

例4 (2008·四川)1990年4月25日,科学家将哈勃天文望远镜送上距地球表面约600 km的高空,使得人类对宇宙中星体的观测与研究有了极大的进展.假设哈勃望远镜沿圆轨道绕地球运行.已知地球半径为6.4×10^6m,利用地球同步卫星与地球表面的距离为3.6×10^7m这一事实可得到哈勃望远镜绕地球运行的周期.以下数据中最接近其运行周期的是( )

A. 0.6小时 B. 1.6小时 C. 4.0小时 D. 24小时

【巧解】 特值法 估算法

地球卫星最小周期1.4h,不选A;同步卫星周期24h,不选D;而卫星周期T=1.6h,是近地飞行,选B.

【答案】 B

例5 (2005·天津理综卷)土星周围有美丽壮观的"光环",组成环的颗粒是大小不等、线度从1μm到10m的岩石、尘埃类似于卫星,它们与土星的中心距离从7.3×10^4km延伸到1.4×10^5km,已知环的外缘颗粒绕土星做圆周运动的周期约为14h,引力常量为$6.67\times10^{-11}\text{N}\cdot\text{m}^2/\text{kg}^2$,则土星的质量约为( )[不计颗粒的相互作用]

A. 9×10^{16}kg B. 6.4×10^{17}kg

C. 9×10^{25}kg D. 6.4×10^{26}kg

【巧解】 估算法

可认为环的外沿一岩石的质量为m,它的周期为14小时,

轨道半径为 $r=1.4\times10^5$ km,由万有引力公式估算得:

$$\frac{GMm}{r^2}=m\frac{4\pi^2}{T^2}\cdot r\Rightarrow M=\frac{4\pi^2r^3}{GT^2}=\frac{4\times(3.14)^2\cdot(1.4\times10^8)^3}{6.67\times10^{-11}\times(14\times3600)^2}$$

$=6.4\times10^{26}$ kg

【答案】 D

例6 关于同步卫星,以下说法正确的是(　　)

A. 所有同步卫星的速度大小都相等

B. 同步卫星的速率一定小于第一宇宙速率

C. 同步卫星的速率介于第一宇宙速率和第二宇宙速率之间

D. 同步卫星可定点在北京的上空

【巧解】 推理法

我们知道同步卫星群应定在赤道平面上,所以 D 错,距地面高度约为 $3.6\times10^4 km$,即轨道半径一定,所以它们具有相等的 T、V、W、a 等,所以 A 正确,又由 $v=\sqrt{\frac{GM}{r}}$ 知,离地面越高的卫星线速度 v 越小,第一宇宙速度 $v=\sqrt{\frac{GM}{R}}$,$R<r$,所以同步卫星的速率一定小于第一宇宙速度,当然更小于第二宇宙速度了.

【答案】 A、B

例7 (2009·湖北八校)科学家们推测,太阳系的第十颗行星就在地球的轨道上,从地球上看,它永远在太阳的背面,人类一直未能发现它,可以说是"隐居"着的地球的"孪生兄弟",由以上信息我们可以推知(　　)

A. 这颗行星的公转周期与地球相等

B. 这颗行星的自转周期与地球相等

C. 这颗行星的密度等于地球的密度

D. 这颗行星的质量等于地球的质量

【巧解】 推理法

由题可知,该行星应一直在地球和太阳的连线上,且和地球分居在太阳的两侧,所以该行星的公转周期与地球相同,A 正确,但对该行星的自转情况,质量和密度,我们无法确定 B、C、D 错.

【答案】 A

例8 (2004·上海高考)火星有两颗卫星,分别是火卫一和火卫二,它们的轨道近似为圆,已知火卫一的周期为 7 小时 39 分,火卫二的周期为 30 小时 18 分,则两颗卫星相比(　　)

A. 火卫一距火星表面较近

B. 火卫二的角速度较大

C. 火卫一的运动速度较大

D. 火卫二的向心加速度较大

【巧解】 通式法　推理法

由万有引力提供向心力可得:$\frac{GMm}{r^2}=m\frac{4\pi^2}{T^2}r$,得 $T^2=\frac{4\pi^2r^3}{GM}$,知选项 A 是正确的,同理得 $v^2=\frac{GM}{r}$,知 C 正确,由 $W=\frac{2\pi}{T}$ 知 B 错误,又因火卫二的周期较大,则它的轨道半径也较大,由 $a=\frac{GM}{r^2}$ 知其向心加速度较小,所以 D 错.

【答案】 A、C

例9 (2004·北京理综)1990 年 5 月,紫金山天文台将他们发现的第 2752 号小行星命名为吴健雄星,该小行星的半径为 16km,若将此小行星和地球均看成质量分布均匀的球体,小行星密度与地球相同,已知地球半径 R = 6400km,地球表面重力加速度为 g,这个小行星表面的重力加速度为(　　)

A. 400g　　B. $\frac{1}{400}g$　　C. 20g　　D. $\frac{1}{20}g$

【巧解】 比例法

均匀球体的质量 $M=\rho\cdot\frac{4}{3}\pi R^3$

地球表面的重力加速度:$g=\frac{GM}{R^2}=\frac{4\pi GR\rho}{3}$

吴健雄星表面的重力加速度 $g'=\frac{GM}{r^2}=\frac{4\pi Gr\rho}{3}$

$g/g'=\frac{R}{r}=400$　故 $g'=\frac{1}{400}g$

【答案】 B

例10 如果万有引力表达式中,两质点之间的引力大小与其距离的 n 次方($n\neq2$)成反比,考虑一群以圆形轨道绕同一恒星运转的行星(行星间的万有引力不计),设各行星的周期与其轨道半径的平方成正比,则 n = ________.

【巧解】 通式法　推理法

由于 $\frac{GMm}{r^n}=m\frac{4\pi^2}{T^2}\cdot r$　且应有 $T=kr^2$(k 为常数)

即 $\frac{GMm}{r^n}=m\frac{4\pi^2}{k^2\cdot r^4}\cdot r$　整理得 $\frac{GM}{r^n}=\frac{4\pi^2}{k^2\cdot r^3}$

显然 $n=3$

【答案】 $n=3$

例11 (2010 新课标全国卷)太阳系中的 8 大行星的轨道均可以近似看成圆轨道。下列 4 幅图是用来描述这些行星运动所遵从的某一规律的图像。图中坐标系的横轴是 $\lg(T/T_0)$,纵轴是 $\lg(R/R_0)$;这里 T 和 R 分别是行星绕太阳运行的周期和相应的圆轨道半径,T_0 和 R_0 分别是水星绕太阳运行的周期和相应的圆轨道半径。下列 4 幅图中正确的是(　　)

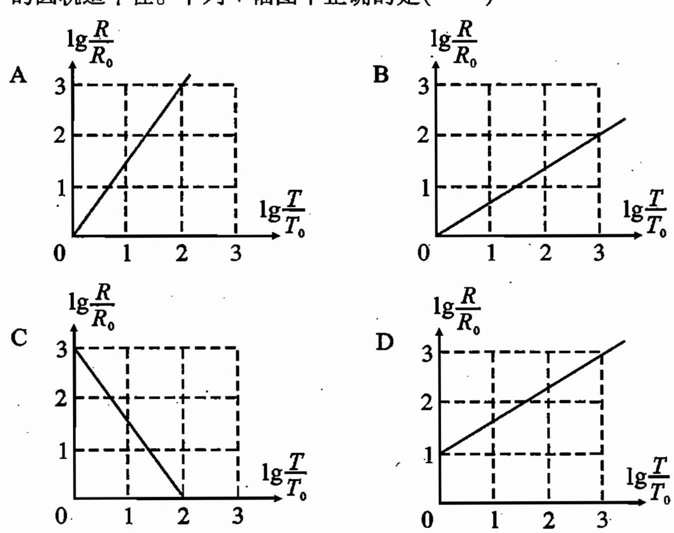


图 1

【巧解】 通式法

依据开普勒第三定律,有

$$\frac{R^3}{T^2}=\frac{R_0^3}{T_0^2}$$

所以$(\frac{R}{R_0})^3=(\frac{T}{T_0})^2$

所以$3lg\frac{R}{R_0}=2lg\frac{T}{T_0}$.

【答案】 B

例12 土星外层有一个环,为了判断它是土星的一部分还是土星的卫星群,可以测量环中各层的线速度 v 与该层到土星的中心的距离 R 之间的关系来判断(　　)

A. 若 $v\propto R$,则该层是土星的一部分

B. 若 $v\propto\frac{1}{R}$,则该层是土星的卫星群

C. 若 $v^2\propto R$,则该层是土星的卫星群

D. 若 $v^2\propto\frac{1}{R}$,则该层是土星的卫星群

【巧解】 假设法

假设环是土星的一部分,则环中各点的角速度相同,对应的线速度 $v=w\cdot R$,即 $v\propto R$,其中 R 为土星环内一点到土星中心的距离,故 A 对,假设环为卫星群,则环中任一颗粒满足:$\frac{GMm}{R^2}=m\frac{v^2}{R}$得 $v=\sqrt{\frac{GM}{R}}$,即 $v^2\propto\frac{1}{R}$,故 D 正确.

【答案】 A、D

例13 (2011·高考科研测试)关于黑洞有如下一种假说:当某一定质量的类星体的半径减小至足够小时,引力非常大,由于光也受引力作用,强大的引力可以使此类星体表面以光速 C 传播的光线都射不出去(已知任何物体的速度都不会超过光速),这一星体就成为黑洞.已知质量为 m 的粒子在质量为 M 的星球附近的引力势能为 $-\frac{GMm}{r}$,式中 G 为万有引力恒量,r 为粒子与星球球心的距离,试用牛顿力学计算质量为 M 的均匀星球成为黑洞时的最大半径 $R=$________.

更多资料干货 关注微信公众号 学习第一线 赠送5000G学习大礼包

【巧解】 估算法

由本题表述的内容可知,粒子以光速绕类星体匀速圆周运动时的轨道半径就是黑洞的最大半径,对粒子作圆周运动和牛顿第二定律知$\frac{GMm}{R^2}=m\frac{c^2}{R}$ 解得 $R=\frac{GM}{C^2}$

【答案】 $R=\frac{GM}{C^2}$

例14 两颗行星 A 和 B 各有一卫星 a,b,卫星的圆轨道接近各自卫星的表面,如果两行星半径之比 $R_A:R_B=q$,两行星的质量之比 $M_A:M_B=P$,则两卫星周期之比 $T_a:T_b$ 为(　　)

A. $q\sqrt{\frac{q}{p}}$　B. $q\sqrt{P}$　C. $q\sqrt{\frac{p}{q}}$　D. $q\sqrt{pq}$

【巧解】 比例法

对行星 A、表面轨道上的卫星有:$G\frac{M_Am}{R_A^2}=m(\frac{2\pi}{T_a})^2\cdot R_A$…①

对行星 B 表面轨道上的卫星有:$\frac{GM_Bm'}{R_B^2}=m'(\frac{2\pi}{T_b})^2R_B$…②

由②/①得 $\frac{T_a}{T_b}=q\sqrt{\frac{q}{p}}$

【答案】 A

例15 据天文学家测量,月球的半径为 1738km,月球表面的重力加速度约为地球表面重力加速度的$\frac{1}{6}$,月球在阳光照射下的温度可达 127℃,而此时水蒸气分子的平均速率达2000m/s,试分析月球表面没水的原因.

【巧解】 临界条件法

设想在月球上刚好有一个绕月球表面运行的人造月球卫星,其环绕速度为 v,则有 $mg'=m\frac{v^2}{R_月}$ 得 $v=\sqrt{g'R_月}=\sqrt{\frac{1}{6}\times10\times1738\times10^3}=1702$m/s,而水蒸气分子在月球表面的速度 2000m/s,大于了环绕速度 1702m/s,这一临界值,所以水分子将离开月球表面,故月球上不可能有水.

【答案】 见巧解分析

例16 人造卫星绕地球作匀速圆周运动时,以下叙述正确的是(　　)

A. 卫星的速度一定大于第一宇宙速度

B. 在卫星中用弹簧秤称一个物体时,读数为零

C. 在卫星中,一个天平的两个盘上分别放上质量不同的两个物体,天平仍处于平衡

D. 在卫星中一切物体都没有惯性

【巧解】 推理法

卫星的最大运行速度最多等于第一宇宙速度,而不可能大于这一速度,所以 A 错,由于卫星及其内的物体受到地球的万有引力全部用来提供作圆周运动的向心力,所以处于完全失重状态,对弹簧秤的拉力为零.对天平两盘的压力也为零,所以 B、C 正确.又因一切物体都有惯性,当然处于完全失重的物体也有惯性,D 错误.

【答案】 B、C

例17 (2010 江苏卷)2009 年 5 月,航天飞机在完成对哈勃空间望远镜的维修任务后,在 A 点从圆形轨道Ⅰ进入椭圆轨道Ⅱ,B 为轨道Ⅱ上的一点,如图 2 所示,关于航天飞机的运动,下列说法中正确的有(　　)

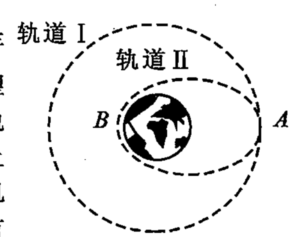


图2

A. 在轨道Ⅱ上经过 A 的速度小于经过 B 的速度

B. 在轨道Ⅱ上经过 A 的动能小于在轨道Ⅰ上经过 A 的动能

C. 在轨道Ⅱ上运动的周期小于在轨道Ⅰ上运动的周期

D. 在轨道Ⅱ上经过 A 的加速度小于在轨道Ⅰ上经过 A 的加速度

【巧解】 推理法

在轨道Ⅱ上,由 A 到 B,引力做正功,所以航天飞机加速,故 A 正确;

航天飞机在 A 点只有通过减速,才能由轨道Ⅰ进入轨道Ⅱ,故 B 正确;

由开普勒第三定律知 C 正确;

由 $G\frac{Mm}{r^2}=ma$ 得 $a=\frac{GM}{r^2}$，显然在轨道Ⅱ和轨道Ⅰ的交点 A 加速度值是唯一的，故 D 错误.

【答案】 ABC

例18 两个质量均为 M 的星体，其连线的垂直平分线为 A、B，O 为两星体连线的中点，如图 3 所示，一质量为 m 的质点从 O 沿 OA 方向运动，设 A 离 O 足够远，则质点在运动过程中受到两个星体万有引力的合力大小变化情况（　　）

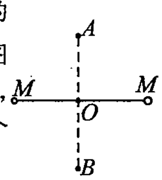


图 3

A. 一直增大

B. 一直减小

C. 先减小后增大

D. 先增大后减小

【巧解】 极值法

易知质点在中点 O 处受两星球的万有引力大小相等，方向相反，合力为零，当到离 O 点不太远的地方时，由力的合成知识知，两星球对质点的万有引力合力不再为 O，当到了 A 点（无穷远）时，万有引力将非常小，可以认为等于零，由此可见，质点在运动过程中，受到两星球的万有引力的合力是先增大后减小.

【答案】 D

例19 （2010 全国Ⅰ卷）如图 4，质量分别为 m 和 M 的两个星球 A 和 B 在引力作用下都绕 O 点做匀速圆周运动，星球 A 和 B 两者中心之间的距离为 L. 已知 A、B 的中心和 O 三点始终共线，A 和 B 分别在 O 的两侧. 引力常数为 G.

（1）求两星球做圆周运动的周期；

（2）在地月系统中，若忽略其他星球的影响，可以将月球和地球看成上述星球 A 和 B，月球绕其轨道中心运行的周期记为 T_1. 但在近似处理问题时，常常认为月球是绕地心做圆周运动的，这样算得的运行周期记为 T_2. 已知地球和月球的质量分别为 5.98×10^{24}kg 和 7.35×10^{22}kg. 求 T_2 与 T_1 两者平方之比.（结果保留 3 位小数）

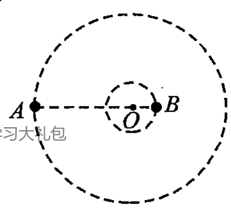


图 4

【巧解】 模型法　推理法

（1）设两个星球 A 和 B 做圆周运动的半径分别为 r 和 R，相互作用的引力大小相等，运行周期为 T. 根据牛顿第二定律和万有引力定律得

$$G\frac{Mm}{L^2}=m(\frac{2\pi}{T})^2r$$

$$G\frac{Mm}{L^2}=M(\frac{2\pi}{T})^2R$$

由图中几何关系得

$r+R=L$

联立解得 $T=2\pi\sqrt{\frac{L^3}{G(M+m)}}$

（2）若将地月看成双星，由（1）得

$$T_1=2\pi\sqrt{\frac{L_{地月球心距}{}^3}{G(M_{地球}+m_{月球})}}$$

若将月球看作绕地心做圆周运动，根据牛顿第二定律和万有引力定律得

$$\frac{GM_{地球}m_{月球}}{L_{地月球心距}{}^2}=m_{月球}(\frac{2\pi}{T_2})^2L_{地月球心距}$$

化简得 $T_2=2\pi\sqrt{\frac{L_{地月球心距}{}^3}{GM_{地球}}}$

所以 T_2 与 T_1 两者平方之比为

$$(\frac{T_2}{T_1})^2=\frac{m_{月球}+M_{地球}}{M_{地球}}$$

$$=\frac{7.35\times10^{22}+5.98\times10^{24}}{5.98\times10^{24}}=1.01$$

例20 科学家认为某些中子星（密度极大）每秒大约自转一周，为了使其表面的物体都能被吸住而不致于因自转"瓦解"，求该中子星的密度是多少？（万有引力恒量 $G=6.67\times10^{-11}$N·m²/kg²）

【巧解】 假设法

假设此中子星最表面的物体随其自转不被"瓦解"时，万有引力作为向心力，即 $\frac{GMm}{R^2}=m(\frac{2\pi}{T})^2R$　　①

式中 M 为中子星的质量，m 为物体的质量，R 为中子星的半径，$T=1$ 秒为中子星自转周期：

由球的体积公式 $V=\frac{4}{3}\pi R^3$

则中子星的质量 $M=\frac{4}{3}\pi\rho\cdot R^3$　　②

②代入①得 $\rho=\frac{3\pi}{GT^2}=1.4\times10^{11}$kg/m³

【答案】 1.4×10^{11}kg/m³

例21 2003 年 10 月 15 日上午 9 时，我国在酒泉卫星发射中心成功发射"神舟五号"载人航天飞船，这是我国首次实现载人航天飞行，也是全世界第三个具有发射载人航天器能力的国家."神舟五号"飞船长 8.86m，质量为 7990kg. 飞船在达到预定的椭圆轨道后运行的轨道倾角为 42.4 度，近地点高度 200km，远地点高度 350km. 实行变轨后，进入离地约 350km 的圆轨道上运行，飞船运动 14 圈后，于 16 日凌晨在内蒙古成功着陆（地球半径 $R_0=6.4\times10^6m$，地球表面重力加速度 $g=10m/s^2$，$\sqrt{2}\cdot\sqrt{3}\cdot\sqrt{5}=5.48$，计算结果保留三位有效数字）

求：（1）飞船变轨后在轨道上正常运行时的速度.

（2）飞船在圆轨道上运行的周期.

【巧解】 代数法

（1）$G\frac{mM}{R^2}=m\frac{v^2}{R}$……①

$mg=\frac{mM}{R_0^2}$……②

$v=\sqrt{\frac{gR_0^2}{R}}=\frac{64}{45}\sqrt{30}$km/s $\approx7.79km/s$……③

（2）$T=\frac{2\pi R}{v}$……④

$=\frac{2\times3.14\times6.75\times10^6}{7.79\times10^3}s\approx5442s=1.51$h……⑤

【答案】 （1）$7.79km/s$.（2）$1.51h$

第六章　万有引力与航天综合测试

一、选择题(每小题4分,共56分)

1. 人造卫星在高空绕地球做匀速圆周运动,由于受阻力影响,其运行周期及动能将发生变化,下列说法正确的是(　　)

A. 动能减小　　B. 动能增大

C. 周期变小　　D. 周期变大

2. 设地面附近重力加速度为 g_0,地球半径为 R_0,人造地球卫星圆形轨道半径为 R,那么以下说法中正确的是(　　)

A. 卫星在轨道上向心加速度大小为$\frac{g_0R_0^2}{R^2}$

B. 卫星运行的速度大小为$\sqrt{\frac{g_0R_0^2}{R}}$

C. 卫星的角速度大小为$\sqrt{\frac{R^3}{R_0^2g_0}}$

D. 卫星运行的周期为 $2\pi\sqrt{\frac{R^3}{R_0^2g_0}}$

3. 一航天飞机绕地球做匀速圆周运动,若航天飞机上的一根天线脱落,则天线脱落的运动是(　　)

A. 向着地球做自由落体运动

B. 做平抛运动

C. 远离地球,飞向太空

D. 继续绕地球做匀速圆周运动

更多资……5000G学习大礼包

4. 设人造卫星做匀速圆周运动,卫星离地面越高,则卫星的(　　)

A. 速度越大　　B. 角速度越大

C. 向心加速度越大　　D. 周期越大

5. 地球半径为 R,地面重力加速度为 g,地球自转周期为 T,地球同步卫星离地面的高度为 h,则地球同步卫星的线速度大小为(　　)

A. $\sqrt{\frac{R^2\cdot g}{R+h}}$　　B. $\sqrt{(R+r)g}$

C. $\frac{2\pi(R+h)}{T}$　　D. $\frac{2\pi(R+h)^2}{T}$

6. 用 m 表示地球同步通信卫星的质量,h 表示飞离地面的高度,R_0 表示地球的半径,g_0 表示地球表面处的重力加速度,ω_0 表示地球自转的角速度,则通信卫星所受的地球对它的万有引力的大小(　　)

A. 等于0　　B. 等于 $m\frac{R_0^2g_0}{(R_0+h)^2}$

C. 等于 $m\sqrt[3]{R_0^2g_0\omega_0^4}$　　D. 以上结果都不对

7. 已知甲、乙两行星的半径之比为 a,第一宇宙速度之比为 b,则以下结论正确的是(　　)

A. 甲、乙两行星质量之比为 ab^2

B. 甲、乙两行星各自卫星的最小周期之比为$\frac{b^2}{a}$

C. 甲、乙两行星各自卫星的最大角速度之比为$\frac{b}{a}$

D. 甲、乙两行星各自卫星的最大速度之比为$\frac{a}{b}$

8. a、b 为地球上的物体,a 处于北纬40°,b 在赤道上,c、d 为地球卫星 c、d 轨道都在赤道平面上,c 为近地面卫星,d 为同步卫星,关于 a、b、c、d 的运行周期 T、向心加速度 a、重力加速度 g、运行速率 v 的以下关系正确的是(　　)

A. $T_a=T_b=T_c=T_d$　　B. $a_a<a_b,a_c<a_d$

C. $g_b=g_c,a_b<a_c$　　D. $v_a<v_b,v_b=v_c$

9. 在圆形轨道上运行的人造地球卫星里,下列现象中可能产生的有(　　)

A. 任何物体放手后,就停着不动,不需要支撑

B. 物体被抛出后,将在密闭卫星内壁碰撞而往返运动

C. 触动一下单摆的摆球,它将绕悬点做匀速圆周运动

D. 摩擦力消失

10. 已知人造卫星靠近地面运行时的环绕速度约为8km/s,则在离地面的高度等于地球半径处运行的速度为(　　)

A. $2\sqrt{2}$km/s　　B. 4km/s

C. $4\sqrt{2}$km/s　　D. 8km/s

11. 人造地球卫星绕地球做匀速圆周运动,其轨道半径为 R,线速度为 v,周期为 T,若使卫星周期变为 $2T$,可能的办法有(　　)

A. R 不变,使线速度变为$\frac{v}{2}$

B. v 不变,使轨道半径变为 $2R$

C. 轨道半径变为 $\sqrt[3]{4}R_1$

D. 以上方法都不可以

12. 某行星的质量是地球质量的6倍,半径是地球半径的1.5倍,则此行星的第一宇宙速度约为(　　)

A. 16km/s　　B. 32km/s

C. 4km/s　　D. 2km/s

13. 卫星绕行星表面做匀速圆周运动,要估算行星的密度,需要测出的物理量是(　　)

A. 卫星的轨道半径　　B. 卫星的运行周期

C. 卫星的运行速度　　D. 行星的半径

14. 地球半径为 R,地面的重力加速度为 g,某卫星距地面的高度也为 R,设卫星做匀速圆周运动,下列说法正确的是(　　)

A. 卫星的线速度为$\frac{\sqrt{2gR}}{2}$

B. 卫星的角速度为$\sqrt{\frac{g}{8R}}$

C. 卫星的加速度为$\frac{g}{2}$

D. 卫星的周期为$2\pi\sqrt{\frac{2R}{g}}$

二、填空题(每空3分,共15分)

15. 在某星球上以速度v_0竖直上抛一物体,经过时间t,物体落回抛出点,若将物体沿星球表面抛出,要使物体不再落回星球表面,抛出的初速度至少应为________.(已知星球半径为R)

16. 一物体在某星球表面受到的吸引力为在地球表面受到的吸引力的N倍,该星球的半径是地球半径的M倍,若该星球和地球的质量分布都是均匀的,则该星球的密度是地球密度的________倍.

17. 已知地球质量$M=6\times10^{24}$kg,地球半径$R=6.4\times10^{3}$km,赤道上质量$m=1$kg物体受到地球对它的万有引力为________N,该物体随地球自转所需的向心力为________N,从计算得到数据看出,向心力________万有引力,所以可以忽略________力.

18. 已知月球的质量是地球的$\frac{1}{81}$,月球的半径为地球的$\frac{3}{11}$,不计自转的影响,则在地球上重力为588N的人在月球上的重力约为________N(保留两位有效数字).

19. 人造地球卫星在距地面3 200km高处的轨道上运行时,它的线速度为________,已知地球半径$R=6\ 400$km,地球的质量$M=6\times10^{24}$kg.

三、计算题(共48分)

20. (8分)已知一颗近地卫星的周期约为5 100s,今要发射一颗同步地球卫星,它离地面的高度约为地球半径的多少倍?

21. (8分)行星的平均密度是ρ,靠近行星表面的卫星的运转周期是T,试证明:ρT^2是一个对任何行星都一样的常量.

22. (9分)某星球质量为地球的9倍,半径为地球的一半,在地球表面从某一高度平抛一物体,水平射程为60m,则在该星球上,从同样高度、以同样的水平初速度平抛同一物体,其水平射程为多少米?

23. (9分)为转播电视节目,发射的地球同步卫星在赤道上空运转,设地球半径为$R=6.4\times10^{6}$m,求:

(1)此卫星距离地面的高度h;

(2)卫星的线速度v.

24. (15分,2008·全国Ⅱ)我国发射的"嫦娥一号"探月卫星沿近似于圆形的轨道绕月飞行.为了获得月球表面全貌的信息,让卫星轨道平面缓慢变化.卫星将获得的信息持续用微波信号发回地球.设地球和月球的质量分别为M和m,地球和月球的半径分别为R和R_1,月球绕地球的轨道半径和卫星绕月球的轨道半径分别为r和r_1,月球绕地球转动的周期为T.假定在卫星绕月运行的一个周期内卫星轨道平面与地月连心线共面,求在该周期内卫星发射的微波信号因月球遮挡而不能到达地球的时间(用M、m、R、R_1、r、r_1和T表示,忽略月球绕地球转动对遮挡时间的影响).

第七章 磁 场

难点巧学

一、利用“结论法”和“等效法”判断导体在安培力作用下的运动情况

结论法——当物体有相同或相似的物理过程时，一般有相同的结论.根据一般性结论的解题方法可称为结论法.

在判断通电导体在安培力的作用下的运动情况的问题中，各种教辅材料中介绍的方法较多，但利用“结论法”和“等效法”判断导体在安培力作用下的运动情况，即简洁又方便.两种办法结合使用更为巧妙.

“结论法”：(1)平行导线通入同向的电流相互吸引，相反的电流相互排斥.(2)异面直线电流又转到电流同向且相互靠近的趋势.

“等效法”：当线圈和磁体作用时，可以把线圈等效成磁体，转化为磁体和磁体间的相互作用，也可以把磁体等效成通电线圈，转化成电流和电流间的相互作用，利用结论事半功倍.

例1 如图1所示，可以自由移动的竖直导线中通有向下的电流，不计通电导线的重力，仅在磁场力作用下，导线将如何移动？

更多资料干货 关注微信公众号 学习第一线 赠送5000G学习大礼包

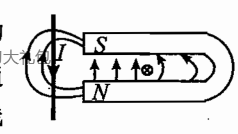


图1

【巧解】 先画出导线所在处的磁感线，上下两部分导线所受安培力的方向相反，使导线从左向右看顺时针转动；同时又受到竖直向上的磁场的作用而向右移动（不要说成先转90°后平移）.分析的关键是画出相关的磁感线.

例2 条形磁铁放在粗糙水平面上，正中的正上方有一导线，通有图2所示方向的电流后，磁铁对水平面的压力将会________（增大、减小还是不变？）.水平面对磁铁的摩擦力大小为________.

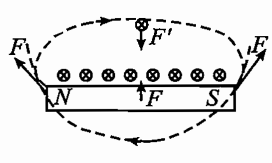


图2

【巧解】 本题有多种分析方法.解法1：画出通电导线中电流的磁场中通过两极的那条磁感线（如图中粗虚线所示），可看出两极受的磁场力的合力竖直向上.磁铁对水平面的压力减小，但不受摩擦力.解法2：画出条形磁铁的磁感线中通过通电导线的那一条（如图中细虚线所示），可看出导线受到的安培力竖直向下，因此条形磁铁受的反作用力竖直向上.解法3：（“结论法”和“等效法”结合）把条形磁铁等效为通电螺线管，上方的电流是向里的，与通电导线中的电流是同向电流，所以互相吸引.

例3 如图3在条形磁铁N极附近悬挂一个线圈，从左向右看时当线圈中通有逆时针方向的电流时，线圈将向哪个方向偏转？

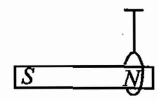


图3

【巧解】 用“同向电流互相吸引，反向电流互相排斥”最简单：条形磁铁的等效螺线管的电流在正面是向下的，与线圈中的电流方向相反，互相排斥，而左边的线圈匝数多所以线圈向右偏转.（本题如果用“同名磁极相斥，异名磁极相吸”将出现判断错误，因为那只适用于线圈位于磁铁外部的情况.）

二、巧用平面图，速解安培力作用下的导体平衡问题

在解决安培力作用下的导体平衡问题中，立体图向平面图转化是难点.

例4 如图4所示，光滑导轨与水平面成α角，导轨宽L.匀强磁场磁感应强度为B.金属杆长也为L，质量为m，水平放在导轨上.当回路总电流为I_1时，金属杆正好能静止.求：(1)B至少多大？这时B的方向如何？(2)若保持B的大小不变而将B的方向改为竖直向上，应把回路总电流I_2调到多大才能使金属杆保持静止？

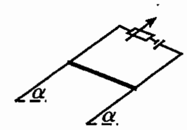


图4

【巧解】 画出金属杆的截面图5.由矢量三角形可知，只有当安培力方向沿导轨平面向上时安培力才最小，B也最小.根据左手定则，这时B应垂直于导轨平面向上，大小满足：$BI_1L=mg\sin\alpha$，$B=mg\sin\alpha/I_1L$.

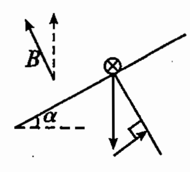


图5

当B的方向改为竖直向上时，这时安培力的方向变为水平向右，沿导轨方向合力为零，得$BI_2L\cos\alpha=mg\sin\alpha$，$I_2=I_1/\sin\alpha$.（在解这类题时必须画出截面图，只有在截面图上才能正确表示各力的准确方向，从而弄清各矢量方向间的关系）.

三、巧用几何知识，突破高考难点

(1)穿过矩形磁场区.一定要先画好辅助线（半径、速度及延长线）.偏转角由$\sin\theta=L/R$求出.侧移由$R^2=L^2+(R-y)^2$解出.经历时间由$t=\dfrac{m\theta}{Bq}$得出.

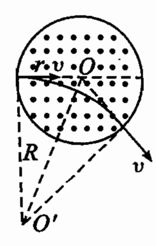


图6

注意，这里射出速度的反向延长线与初速度延长线的交点不再是宽度线段的中点，这点与带电粒子在匀强电场中的偏转结论不同！

(2)穿过圆形磁场区.画好辅助线（半径、速度、轨迹圆的圆心、

连心线).偏角可由 $\tan\frac{\theta}{2}=\frac{r}{R}$ 求出.经历时间由 $t=\frac{m\theta}{Bq}$ 得出.

注意:由对称性,射出线的反向延长线必过磁场圆的圆心.

例5 如图7直线 MN 上方有磁感应强度为 B 的匀强磁场.正、负电子同时从同一点 O 以与 MN 成30°角的同样速度 v 射入磁场(电子质量为 m,电荷为 e),它们从磁场中射出时相距多远?射出的时间差是多少?

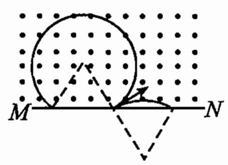


图7

【巧解】 正负电子的半径和周期是相同的.只是偏转方向相反.先确定圆心,画出半径,由对称性知:射入、射出点和圆心恰好组成正三角形.所以两个射出点相距 $2r$,由图7还看出经历时间相差 $2T/3$.答案为射出点相距 $s=\frac{2mv}{Be}$,时间差为 $\Delta t=\frac{4\pi m}{3Bq}$.关键是找圆心、找半径和用对称.

例6 一个质量为 m 电荷量为 q 的带电粒子从 x 轴上的 $P(a,0)$ 点以速度 v,沿与 x 正方向成60°的方向射入第一象限内的匀强磁场中,并恰好垂直于 y 轴射出第一象限.求匀强磁场的磁感应强度 B 和射出点的坐标.

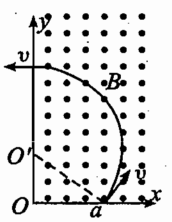


图8

【巧解】 由射入、射出点的半径可找到圆心 O',并得出半径为 $r=\frac{2a}{\sqrt{3}}=\frac{mv}{Bq}$,得 $B=\frac{\sqrt{3}mv}{2aq}$;射出点坐标为 $(0,\sqrt{3}a)$.

例7 如图9所示,在一个圆形区域内,两个方向相反且都垂直于纸面的匀强磁场分布在以直径 A_2A_4 为边界的两个半圆形区域Ⅰ、Ⅱ中,A_2A_4 与 A_1A_3 的夹角为60°.一质量为 m、带电量为 $+q$ 的粒子以某一速度从Ⅰ区的边缘点 A_1 处沿与 A_1A_3 成30°角的方向射入磁场,随后该粒子以垂直于 A_2A_4 的方向经过圆心 O 进Ⅱ区,最后再从 A_4 处射出磁场.已知该粒子从射入到射出磁场所用的时间为 t,求Ⅰ区和Ⅱ区中磁感应强度的大小(忽略粒子重力).

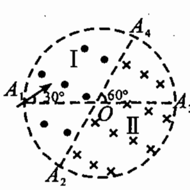


图9

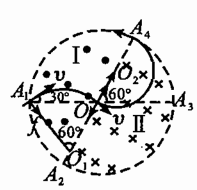


图10

【巧解】

$$\begin{cases}t=t_1+t_2\\ t_1=\frac{1}{6}T_1=\frac{\pi m}{3B_1q}\\ t_2=\frac{1}{2}T_2=\frac{\pi m}{B_2q}\end{cases}\qquad\begin{cases}R_1=\frac{mv}{B_1q}=OA_1\\ R_2=\frac{mv}{B_2q}=\frac{OA_4}{2}\end{cases}$$

$\therefore B_1=\frac{1}{2}B_2$

$\therefore$ 由左边三式得到 $B_1=\frac{5\pi m}{6qt}$　$B_2=\frac{5\pi m}{3qt}$

例8 (2004·全国理综)如图11所示,在 $y>0$ 的空间中存在匀强电场,场强沿 y 轴负方向;在 $y<0$ 的空间中,存在匀强磁场,磁场方向垂直 xy 平面(纸面)向外.一电量为 q、质量为 m 的带正电的运动粒子,经过 y 轴上 $y=h$ 处的点 P_1 时速率为 v_0,方向沿 x 轴正方向;然后,经过 x 轴上 $x=2h$ 处的 P_2 点进入磁场,并经过 y 轴上 $y=-2h$ 处的 P_3 点.不计粒子重力.求

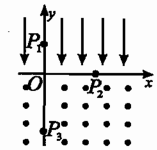


图11

(1)电场强度的大小.

(2)粒子到达 P_2 时速度的大小和方向.

(3)磁感应强度的大小.

【巧解】 (1)粒子从 P_1 到 P_2 是在电场力作用下做类平抛运动,找分运动水平 $OP_2=2h=v_0t$　①

竖直 $OP_1=h=\frac{1}{2}at^2=\frac{1}{2}\frac{Eq}{m}t^2$　②

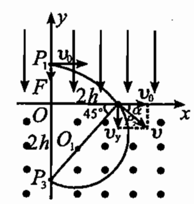


图12

$\therefore h=\frac{1}{2}\frac{Eq}{m}(\frac{2h}{v_0})^2\Rightarrow E=\frac{mv_0^2}{2qh}$

(2)设到达 p_2 速度为 v,则

$v_y=at=\frac{Eq}{m}\cdot\frac{2h}{v_0}=v_0$

$v=\sqrt{v_0^2+v_y^2}=\sqrt{2}v_0$　$\mathrm{tg}\alpha=\frac{v_y}{v_0}=1$　$\alpha=45°$

(3)粒子从 P_2 到 P_3 将作圆周运动,画出轨迹,圆心位置,粒子走半圆

$(2R)^2=(2h)^2+(2h)^2$　　$R=\sqrt{2}h$

又$\because R=\frac{mv}{Bq}=\frac{\sqrt{2}mv_0}{Bq}=\sqrt{2}h$

$\therefore B=\frac{mv_0}{qh}$

活题巧解

例1 两条导线互相垂直,如图13所示,但相隔一段小距离,其中一条 AB 是固定的,另一条 CD 能自由活动,当直流电流按图示方向通过两条导线时,导线 CD 将(从纸外向纸内看)(　　)

A. 不动

B. 顺时针方向转动,同时靠近导线 AB

C. 逆时针方向转动,同时离开导线 AB

D. 顺时针方向转动,同时离开导线 AB

E. 逆时针方向转动,同时靠近导线 AB

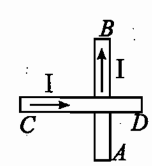


图13

【巧解】 模型法

利用"结论"即异面直线电流有转到同向且相互靠近的趋势,可得答案E.

例2 始终静止在斜面上的条形磁铁,当其上方的水平导线 L 中通以如图14所示的电流时,与通电流前相比斜面对磁铁的弹力 N 和摩擦力 f(　　)

A. N 增大，f 增小　　B. N 减小，f 增大
C. 都增大　　D. 都减小

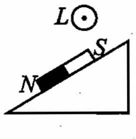


图 14

【巧解】　等效法　转化法

根据条形磁铁周围的磁感线分布特点，等效（或转化）成垂直纸面向里的通电导线，利用结论，可得答案 C.

例 3　初速为 v_0 的电子，沿平行于通电长直导线的方向射出，直导线中电流方向与电子的初始运动方向如图 15 所示，则（　　）

A. 电子将向右偏转，速率不变
B. 电子将向左偏转，速率改变
C. 电子将向左偏转，速率不变
D. 电子将向右偏转，速率改变

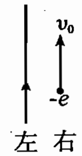


图 15

【巧解】　等效法　转化法

把电子的运动情况，等效成通电导线，电流方向向下，利用结论可得答案 A.

例 4　如图 16 所示，连接平行金属板 P_1 和 P_2（板面垂直于纸面）的导线的一部分 CD 和另一连接电池的回路的一部分 GH 平行，CD 和 GH 均在纸面内，金属板置于磁场中，磁场方向垂直纸面向里，当一束等离子体射入两金属板之间时，CD 段导线受到力的方向为（　　）

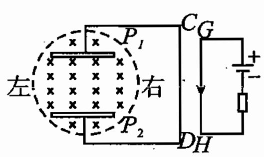


图 16

A. 等离子体从右方射入时，CD 受力的方向背离 GH
B. 等离子体从右方射入时，CD 受力的方向指向 GH
更多资料下载 关注微信公众号 学习第一线 赠送5000G学习大礼包
C. 等离子体从左方射入时，CD 受力的方向背离 GH
D. 等离子体从左方射入时，CD 受力的方向指向 GH

【巧解】　等效法　转化法

把等离子体等效成导体棒切割磁感线，利用结论法可得答案为 AD.

例 5　如图 17 所示，在垂直纸面向里的匀强磁场的边界上，有两个质量和电量均相同的正、负离子（不计重力），从 O 点以相同的速度先后射入磁场中，入射方向与边界成 θ 角，则正、负离子在磁场中（　　）

A. 运动时间相同
B. 运动轨迹的半径相同
C. 重新回到边界时速度的大小和方向相同
D. 重新回到边界的位置与 O 点的距离相等

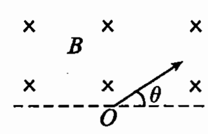


图 17

【巧解】　对称法

根据带电粒子在磁场中的运动情况，角的关系，运动的对称性知：两个粒子运动轨迹相加为一个整圆，可得答案 BCD.

例 6　三个质子 1、2 和 3 分别以大小相等，方向如图 18 所示的初速度 v_1、v_2 和 v_3，经过平板 MN 上的小孔 O 射入匀强磁场，磁场方向垂直纸面向里，整个装置放在真空中，且不计重力，这三个质子打到平板 MN 上的位置到小孔 O 的距离分别是 s_1、s_2 和 s_3，则（　　）

A. $s_1 > s_2 > s_3$　　B. $s_1 < s_2 < s_3$
C. $s_1 = s_3 > s_2$　　D. $s_1 = s_3 < s_2$

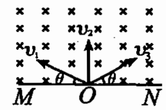


图 18

【巧解】　动态圆法

根据四个重要的角的关系和对称性可得答案 D.

例 7　如图 19 所示，在 x 轴的上方（$y \geqslant 0$）存在着垂直于纸面向外的匀强磁场，磁感强度为 B. 在原点 O 有一个离子源向 x 轴上方的各个方向发射出质量为 m、电量为 q 的正离子，速率都为 v，对那些在 xy 平面内运动的离子，在磁场中可能到达的最大 x = ________，最大 y = ________.

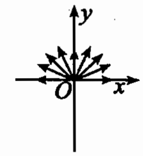


图 19

【巧解】　动态圆法

带电粒子在磁场中运动，所能到达的空间是以带电粒子在磁场中运动轨道半径的 2 倍为半径的圆形区域内，故两空的答案均为：$\frac{2mv}{qB}$，$\frac{2mv}{qB}$

例 8　如图 20，在一水平放置的平板 MN 的上方有匀强磁场，磁感应强度的大小为 B，磁场方向垂直于纸面向里. 许多质量为 m 带电量为 $+q$ 的粒子，以相同的速率 v 沿位于纸面内的各个方向，由小孔 O 射入磁场区域. 不计重力，不计粒子间的相互影响. 下列图中阴影部分表示带电粒子可能经过的区域，其中 $R = \frac{mv}{Bq}$. 图 21 中哪个是正确的？（　　）

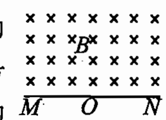


图 20

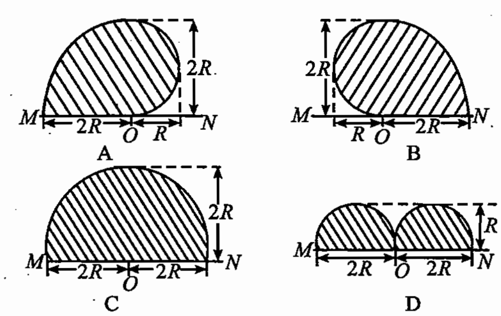


图 21

【巧解】　动态圆法

利用上题的规律，加上边界条件可得答案 A.

例 9　如图 22 所示，ab 和 cd 是匀强磁场中与磁场方向垂直的平面内两条平行直线. 在直线 ab 上的 O 点将同种带电粒子以不同的初速度发射出去，初速度方向均沿 ob 方向. 其中粒子 1 在通过直线 cd 时，速度为 v_1，方向与 cd 垂直；粒子 2 在通过直线 cd 时，速度为 v_2，方向与 cd 夹角为 60°. 从射出到经过直线 cd，粒子 1 经历时间为 t_1，粒子 2 经历的时间为 t_2，则 t_1 与 t_2 的比值是（　　）

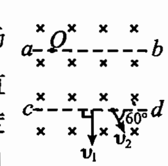


图 22

A. $t_1 : t_2 = 3:2$　　B. $t_1 : t_2 = 4:3$

C. $t_1:t_2=2:\sqrt{3}$　　　　D. $t_1:t_2=\sqrt{3}:\sqrt{2}$

【巧解】　比例法　通式法

带电粒子在磁场中运动的周期相同，$t=\frac{\theta}{2\pi}T$，运动时间和圆心角成正比，圆心角等于偏向角，得到答案 A 正确.

例 10　质量为 m，带正电量 q 的粒子，垂直磁场方向从 A 射入匀强磁场，磁感应强度为 B，途经 P 点. 已知 AP 连线与入射方向成 α 角. 如图 23 所示，则离子从 A 到 P 经历的时间为(　　)

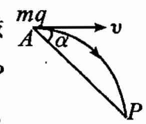


图 23

A. $\frac{m\alpha}{qB}$　　B. $\frac{2\pi m\alpha}{qB}$　　C. $\frac{m\alpha}{2\pi qB}$　　D. $\frac{2m\alpha}{qB}$

【巧解】　模型法　通式法

根据"四个重要的角"的关系，即圆心角 = 偏向角 = 2 倍弦切角 = 2 倍圆周角，可知圆心角为 2α，代入公式 $\frac{T}{2\pi}=\frac{t}{2\alpha}$，可得 $t=\frac{\alpha}{\pi}\cdot T=\frac{2\pi m\alpha}{\pi qB}=\frac{2m\alpha}{qB}$，所以选项 D 正确.

例 11　如图 24 为一种质谱仪工作原理示意图. 在以 O 为圆心，OH 为对称轴，夹角为 2α 的扇形区域内分布着方向垂直于纸面的匀强磁场. 对称于 OH 轴的 C 和 D 分别是离子发射点和收集点. CM 垂直磁场左边界于 M，且 $OM=d$. 现有一正离子束以小发散角(纸面内)从 C 射出，这些离子在 CM 方向上的分速度均为 v_0. 若该离子束中比荷为 $\frac{q}{m}$ 的离子都能汇聚到 D，试求：

更多资料干货 关注微信公众号 学习第一线 赠送5000G学习大礼包

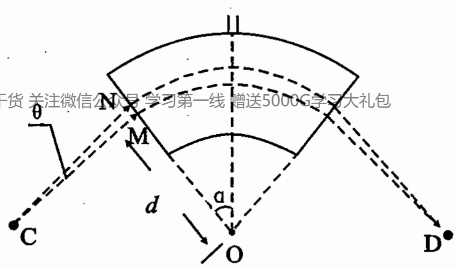


图 24

(1)磁感应强度的大小和方向(提示：可考虑沿 CM 方向运动的离子为研究对象)；

(2)离子沿 CM 成 θ 角的直线 CN 进入磁场，其轨道半径和在磁场中的运动时间；

(3)线段 CM 的长度.

【巧解】　动态圆法　对称法　推理法　动态分析法

(1)设沿 CM 方向运动的离子在磁场中做圆周运动的轨道半径为 R

由 $qv_0B=\frac{mv_0^2}{R}$　$R=d$　得 $B=\frac{mv_0}{qd}$

磁场方向垂直纸面向外

(2)设沿 CN 运动的离子速度大小为 v，在磁场中的轨道半径为 R'，运动时间为 t，如图 25 示，由 $v\cos\theta=v_0$，

得 $v=\frac{v_0}{\cos\theta}$　$R'=\frac{mv}{qB}=\frac{d}{\cos\theta}$

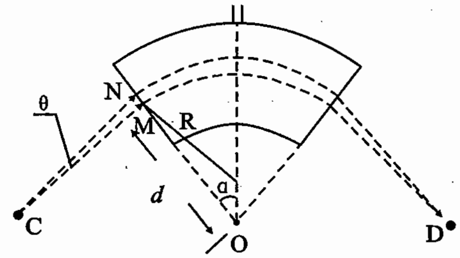


图 25

离子在磁场中做匀速圆周运动的周期 $T=\frac{2\pi m}{qB}$

$t=T\times\frac{\theta+\alpha}{\pi}=\frac{2(\theta+\alpha)d}{v_0}$

(3) $CM=MN\cot\theta$　　$\frac{MN+d}{\sin(\alpha+\beta)}=\frac{R'}{\sin\alpha}$

$R'=\frac{d}{\cos\theta}$

以上 3 式联立求解得 $CM=d\cot\alpha$

例 12　(2004 · 广东、广西)如图 26 所示，真空室内存在匀强磁场，磁场方向垂直于图中纸面向里，磁感应强度的大小 $B=0.60T$，磁场内有一块平面感光平板 ab，板面与磁场方向平行，在距 ab 的距离为 $l=16\text{cm}$ 处，有一个点状的 α 放射源 S，它向各个方向发射 α 粒子，α 粒子的速度都是 $v=3.0\times10^6\text{m/s}$，已知 α 粒子的电荷与质量之比 $\frac{q}{m}=5.0\times10^7\text{C/kg}$. 现只考虑在图纸平面中运动的 α 粒子，求 ab 上被 α 粒子打中的区域的长度.

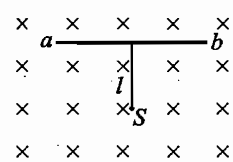


图 26

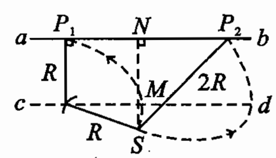


图 27

【巧解】　推理法

α 粒子带正电，故在磁场中沿逆时针方向做匀速圆周运动，用 R 表示轨道半径，有 $qvB=m\frac{v^2}{R}$……①

由此得 $R=\frac{v}{(q/m)B}$

代入数值得 $R=10\text{cm}$，可见，$2R>l>R$.

因朝不同方向发射的 α 粒子的圆轨迹都过 S，由此可知，某一圆轨迹在图中 N 左侧与 ab 相切，则此切点 P_1 就是 α 粒子能打中的左侧最远点，为定出 P_1 点的位置，可作平行于 ab 的直线 cd，cd 到 ab 的距离为 R，以 S 为圆心，R 为半径，作弧交 cd 于 Q 点，过 Q 作 ab 的垂线，它与 ab 的交点即为 P_1.

由图中几何关系得

$NP_1=\sqrt{R^2-(l-R)^2}$……②

再考虑 N 的右侧，任何 α 粒子在运动中离 S 的距离不可能超过 $2R$，以 $2R$ 为半径、S 为圆心作圆，交 ab 于 N 右侧的 P_2 点，

此即右侧能打到的最远点，由图中几何关系得 $NP_2=\sqrt{(2R)^2-l^2}$

所求长度为 $P_1P_2=NP_1+NP_2$

代入数值得 $P_1P_2=20\text{cm}$.

【答案】 20 cm

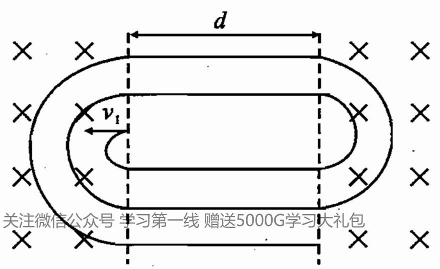
例 13 (2010 山东卷)如图 28 所示，以两虚线为边界，中间存在平行纸面且与边界垂直的水平电场，宽度为 d，两侧为相同的匀强磁场，方向垂直纸面向里。一质量为 m、电带电 $+q$、重力不计的带电粒子，以初速度 v_1 垂直边界射入磁场做匀速圆周运动，后进入电场做匀加速运动，然后第二次进入磁场中运动，此后粒子在电场和磁场中交替运动. 已知粒子第二次在磁场中运动的半径是第一次的二倍，第三次是第一次的三倍，以此类推。求

(1)粒子第一次经过电场的过程中电场力所做的功 W_1.

(2)粒子第 n 次经过电场时电场强度的大小 E_n.

(3)粒子第 n 次经过电场所用的时间 t_n.

(4)假设粒子在磁场中运动时，电场区域场强为零. 请画出从粒子第一次射入磁场至第三次离开电场的过程中，电场强度随时间变化的关系图线(不要求写出推导过程，不要求标明坐标刻度值).



更多资料干货 关注微信公众号 学习第一线 赠送5000G学习大礼包

图 28

【巧解】 通式法

带电粒子在磁场中做匀速圆周运动，由 $qvB=m\dfrac{v^2}{r}$ 得 $r=\dfrac{mv}{qB}$，则 $v_1:\ v_2:\ \cdots:\ v_n=r_1:\ r_2:\ \cdots:\ r_n=1:\ 2:\ \cdots:\ n$

(1)第一次过电场，由动能定理得

$$W_1=\frac{1}{2}mv_2^2-\frac{1}{2}mv_1^2=\frac{3}{2}mv_1^2$$

(2)第 n 次经过电场时，由动能定理得

$$qE_nd=\frac{1}{2}mv_{n+1}^2-\frac{1}{2}mv_n^2$$

解得 $E_n=\dfrac{(2n+1)mv_1^2}{2qd}$

(3)第 n 次经过电场时的平均速度为

$$\bar{v}=\frac{v_n+v_{n+1}}{2}=\frac{2n+1}{2}v_1,$$

则时间为

$$t_n=\frac{d}{\bar{v}_n}=\frac{2d}{(2n+1)v_1}$$

(4)如图 29 或图 30 所示.

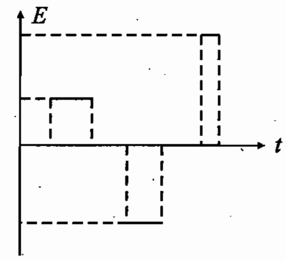


图 29

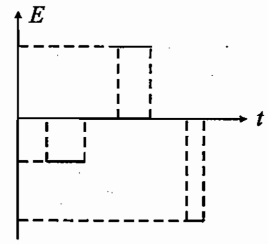


图 30

【说明】 通式法是解决多过程(各个过程遵循相同物理规律)问题的利器.

例 14 如图 31 所示，在 xOy 平面内的第三象限中有沿 $-y$ 方向的匀强电场，场强大小为 E. 在第一和第二象限有匀强磁场，方向垂直于坐标平面向里. 有一个质量为 m、电荷量为 e 的电子，从 y 轴的 P 点以初速度 v_0 垂直于电场方向进入电场(不计电子所受重力). 经电场偏转后，沿着与 x 轴负方向成 45°角进入磁场，并能返回到原出发点 P.

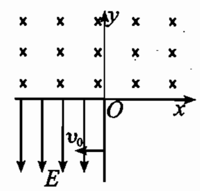


图 31

(1)简要说明电子的运动情况，并画出电子运动的轨迹的示意图;

(2)求 P 点距坐标原点的距离;

(3)电子从 P 点出发经多长时间再次返回 P 点?

【巧解】 推理法 对称性

(1)电子进入电场，从 P 点到 A 点做匀变速曲线运动.

进入磁场从 A—C—D 做匀速圆周运动.

离开磁场从 D 到 P，做匀速直线运动.

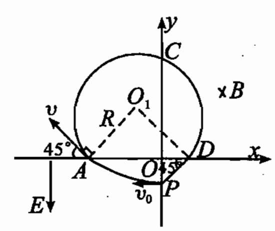


图 32

(2) $\overline{OP}=\dfrac{1}{2}\dfrac{eE}{m}t^2$

$$\left.\begin{aligned}v_y&=v_0\\ v_y&=\frac{eE}{m}\cdot t\end{aligned}\right\}\ t=\frac{mv_0}{eE}\quad\therefore\ \overline{OP}=\frac{mv_0^2}{2eE}$$

(3)电子在电场中运动时间 $t_1=\dfrac{mv_0}{eE}$

电子在磁场中运动时间 $t_2=\dfrac{3}{4}T=\dfrac{3\pi m}{2eB}$(由电子运动轨迹示意图 32 知)

电子由 D 到 P 运动时间 $t_3=\dfrac{\overline{DP}}{v}=\dfrac{\sqrt{2}\overline{OP}}{\sqrt{2}v_0}=\dfrac{mv_0}{2eE}$

总时间 $t=t_1+t_2+t_3=\dfrac{3mv_0}{2eE}+\dfrac{3\pi m}{2eB}$

又由图知 $OA=v_0t_1=\dfrac{mv_0^2}{eE}$，$OD=h=\dfrac{mv_0^2}{2eE}$,

$$AD=AO+OD=\frac{3mv_0^2}{2eE}=\sqrt{2}R$$

由 $evB=\dfrac{mv^2}{R}$，得 $R=\dfrac{mv}{e_B}=\dfrac{m\sqrt{2}v_0}{e_B}$

解得 $B=\frac{4\sqrt{2}}{3v_0}$

故 $t=(4+3\pi)\frac{3mv_0}{8eE}$

例 15　一匀强磁场，磁场方向垂直于 xy 平面，在 xy 平面上，磁场分布在以 O 为中心的一个圆形区域内. 一个质量 m、电荷量为 q 的带电粒子，由原点 O 开始运动，初速为 v，方向沿 x 正方向. 后来，粒子经过 y 轴上的 P 点，此时速度方向与 y 轴的夹角为 30°，P 到 O 的距离为 L，如图 33 所示. 不计重力的影响. 求磁场的磁感强度 B 的大小和 xy 平面上磁场区域的半径 R.

【巧解】　动态圆法　推理法

粒子在磁场中受洛仑兹力作用，作匀速圆周运动，设其半径为 r，

$$qvB=m\frac{v^2}{r} \quad\cdots\cdots ①$$

据此并由题意知，粒子在磁场中的轨迹的圆心 C 必在 y 轴上，且 P 点在磁场区之外. 过 P 沿速度方向作延长线，它与 x 轴相交于 Q 点. 作圆弧过 O 点与 x 轴相切，并且与 PQ 相切，切点 A 即粒子离开磁场区的地点. 这样也求得圆弧轨迹的圆心 C，如图 33 所示.

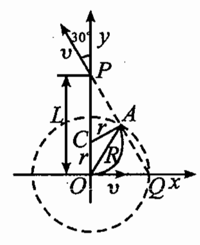


图 33

由图 33 中几何关系得

$$L=3r \quad\cdots\cdots ②$$

由①、②求得

$$B=\frac{3mv}{qL} \quad\cdots\cdots ③$$

图中 OA 的长度即圆形磁场区的半径 R，由图中几何关系可得

$$R=\frac{\sqrt{3}}{3}L \quad\cdots\cdots ④$$

例 16　图 34 为一种质谱仪示意图，由加速电场、静电分析器和磁分析器组成，若静电分析器通道的半径为 R，均匀辐向电场的场强为 E，磁分析器中有垂直纸面向外的匀强磁场，磁感应强度为 B. 问：

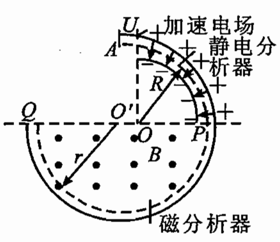


图 34

(1)为了使位于 A 处电量为 q、质量为 m 的离子，从静止开始经加速电场加速后沿图中虚线通过静电分析器，加速电场的电压 U 应为多大？

(2)离子由 P 点进入磁分析器后，最终打在乳胶片上的 Q 点，该点距入射点 P 多远？若有一群离子从静止开始通过该质谱仪后落在同一点 Q，则该群离子有什么共同点？

【巧解】　推理法

(1)离子在加速电场中，做加速运动，根据动能定理有

$$qU=\frac{1}{2}mv^2 \quad\cdots\cdots ①$$

离子在辐向电场中做匀速圆周运动，电场力提供向心力，根据牛顿第二定律有

$$qE=m\frac{v^2}{R} \quad\cdots\cdots ②$$

解以上两式得 $U=\frac{1}{2}ER$ ……③

(2)离子在匀强磁场中做匀速圆周运动，洛仑兹力提供向心力，根据牛顿第二定律有

$$qvB=m\frac{v^2}{r} \quad\cdots\cdots ④$$

由②④式解得 $r=\frac{mv}{qB}=\frac{1}{B}\sqrt{\frac{EmR}{q}}$ ……⑤

故 $\overline{PQ}=2r=\frac{2}{B}\sqrt{\frac{EmR}{q}}\propto\sqrt{\frac{m}{q}}$ ……⑥

从⑥式可看出 $\overline{PQ}\propto\sqrt{\frac{m}{q}}$，说明该群离子都打在 Q 点必须同带正电荷，且具有相同的荷质比.

例 17　(全国高考题)如图 35 所示，在 x 轴上方有垂直于 xy 平面向里的匀强磁场，磁感应强度为 B；在 x 轴下方有沿 y 轴负方向的匀强电场，场强为 E，一质量为 m、电量为 −q 的粒子从坐标原点 O 沿着 y 轴正方向射出，射出之后，第三次到达 x 轴时，它与 O 点的距离为 L，求此粒子射出时的速度 v 和运动的总路程 S(重力不计).

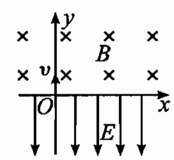


图 35

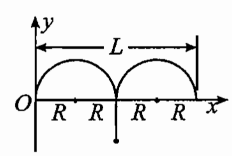


图 36

【巧解】　对称法　推理法

粒子射出后会偏转，向右做匀速圆周运动，设半径为 R，$\frac{T}{2}$ 后会从(2R,0)处向下射入电场区，电场力沿 +y 方向，粒子将做匀减速运动，经一个来回后第二次到达 x 轴，然后它将如此循环运动下去.

如图 36 所示，为粒子运动路线，第三次到达 x 轴时 L=4R.

由洛仑兹力提供向心力，有：$qvB=m\frac{v^2}{R}$

联立以上两式得 $v=\frac{qBL}{4m}$

设粒子进入电场做减速运动最远到 x 轴下方 d 处，加速度大小为 a.

由牛顿第二定律：$qE=ma$，而 $v^2=2ad$

解得 $d=\frac{qB^2L^2}{32mE}$

粒子运动的总路程 $S=2\pi R+2d=\frac{\pi}{2}L+\frac{qB^2L^2}{16mE}$

例 18　(广东高考题)如图 37 所示，在某装置中有一匀强磁场，磁感应强度为 B，方向垂直于 xoy 所在的纸面向外. 某时刻在 $x=L_0$，$y=0$ 处，一质子沿 y 轴的负方向进入磁场；同一时刻，在 $x=-L_0$，$y=0$ 处，一个 α 粒子进入磁场，速度方向与磁场垂直，不考虑质子与 α 粒子的相互作用，设质子的质量为 m，电量为 e.

(1)如果质子经过坐标原点 O,它的速度为多大?

(2)如果 α 粒子与质子在坐标原点相遇,α 粒子的速度应为何值?方向如何?

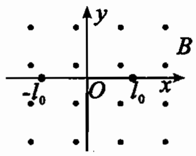


图 37

【巧解】 动态圆法

(1)根据质子进入磁场的位置和进入磁场时速度的方向,可知其圆周轨道的圆心必在 x 轴上,又因质子经过原点 O,故其轨道半径 $r_P=\frac{1}{2}l_0$,设质子速度为 v_p.

由牛顿定律得:$eBv_p=\frac{mv_p^2}{r_p}$,解得 $v_p=\frac{eBl_0}{2m}$.

(2)质子做圆周运动的周期为 $T_P=\frac{2\pi m}{eB}$,由于 α 粒子电荷为 $q_\alpha=2e$,质量为 $m_\alpha=4m$,故 α 粒子做圆周运动的周期 $T_\alpha=\frac{4\pi m}{eB}=2T_P$.

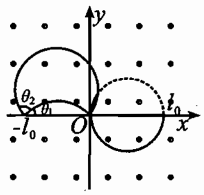


图 38

质子在做圆周运动的过程中,在 $t=\frac{1}{2}T_P$、$\frac{3}{2}T_P$、$\frac{5}{2}T_P$……各时刻通过 O 点,α 粒子如与质子在 O 点相遇,必在同一时刻到达 O 点,这些时刻分别对应 $t:t=\frac{1}{4}T_\alpha$、$\frac{3}{4}T_\alpha$、$\frac{5}{4}T_\alpha$……如果 α 粒子在 $\frac{1}{4}T_\alpha$ 到达 O 点,它运行了 $\frac{1}{4}$ 周期,如果在 $t=\frac{3}{4}T_\alpha$ 到达 O 点,它运行了 $\frac{3}{4}$ 周期,由此可知,α 粒子进入磁场处与 O 点之间的连线必为 $\frac{1}{4}$ 圆周或 $\frac{3}{4}$ 圆周所对的弦,如图 38 所示(实际上 $t=\frac{5}{4}T_\alpha$

更多资料干货 关注微信公众号 学习第一线 赠送5000G学习大礼包

等情况不必再考虑),进而得出 α 粒子的轨道半径 $r_\alpha=\frac{\sqrt{2}}{2}l_0$.

设 α 粒子的速度为 v_α,则由牛顿定律得:$q_\alpha Bv_\alpha=m_\alpha\frac{v_\alpha^2}{r_\alpha}$

注意到 $m_\alpha=4m,q_\alpha=2e$,解得:$v_\alpha=\frac{\sqrt{2}eBl_0}{4m}$

但方向有两个,用 α 粒子速度方向与 x 轴正方向夹角 θ 表示,$\theta_1=\frac{\pi}{4},\theta_2=\frac{3\pi}{4}$

例 19 (2008·全国)如图 39 所示,在坐标系 xoy 中,过原点的直线 OC 与 x 轴正向的夹角 φ120°,在 OC 右侧有一匀强电场:在第二、三象限内有一匀强磁场,其上边界与电场边界重叠、右边界为 y 轴、左边界为图中平行于 y 轴的虚线,磁场的磁感应强度大小为 B;方向垂直纸面向里.一带正电荷 q、质量为 m 的粒子以某一速度自磁场左边界上的 A 点射入磁场区域,并从 O 点射出,粒子射出磁场的速度方向与 x 轴的夹角 θ = 30°,大小为 v,粒子在磁场中的运动轨迹为纸面内的一段圆弧,且弧的半径为磁场左右边界间距的两倍.粒子进入电场后,在电场力的作用下又由 O 点返回磁场区域,经过一段时间后再次离开磁场.已知粒子从 A 点射入到第二次离开磁场所用的时间恰好等于粒子在磁场中做圆周运动的周期.忽略重力的影响.求

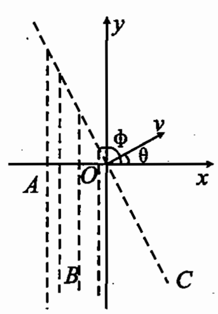


图 39

(1)粒子经过 A 点时速度的方向和 A 点到 x 轴的距离;

(2)匀强电场的大小和方向;

(3)粒子从第二次离开磁场到再次进入电场时所用的时间.

【巧解】 动态圆法 几何法 动态分析法 代数法

(1)如图 40,设磁场左边界与 x 轴相交于 D 点,与 CO 交于 O′点,则几何关系可知,直线 OO′与粒子过 O 点的速度 v 垂直.在直角三角形 OO′D 中∠OO′D = 30°.设磁场左右边界间距为 d,则 OO′ = 2d.依题意可知,粒子第一次进入磁场的运动轨迹的圆心即为 O 点,圆弧轨迹所对的圆心角为 30°,且 O′A 为圆弧的半径 R.

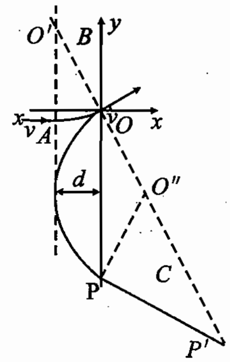


图 40

由此可知,粒子自 A 点射入磁场的速度与左边界垂直.

A 点到 x 轴的距离 $\overline{AD}=R(1-\cos 30°)$…………①

由洛仑兹力公式、牛顿第二定律及圆周运动的规律,

得 $qvB=\frac{mv^2}{R}$…………②

联立①②式得 $\overline{AD}=\frac{mv}{qB}(1-\frac{\sqrt{3}}{2})$…………③

(2)设粒子在磁场中做圆周运动的周期为 T,第一次在磁场中飞行的时间为 t_1,

有 $t_1=\frac{T}{12}$…………④

$T=\frac{2\pi m}{qB}$…………⑤

依题意,匀强电场的方向与 x 轴正向夹角应为 150°.由几何关系可知,粒子再次从 O 点进入磁场的速度方向与磁场右边夹角为 60°.设粒子第二次在磁场中飞行的圆弧的圆为 O″,O″必定在直线 OC 上.设粒子射出磁场时与磁场右边界交于 P 点,则∠OO″P = 120°.设粒子第二次进入磁场在磁场中运动的时间为 t_2,有

$t_2=\frac{1}{3}T$…………⑥

设带电粒子在电场中运动的时间为 t_3,依题意得

$t_3=T-(t_1+t_2)$…………⑦

由匀变速运动的规律和牛顿定律可知

$-v=v-at_3$…………⑧

$a=\frac{qE}{m}$…………⑨

联立④⑤⑥⑦⑧⑨可得

$E=\frac{12}{7\pi}Bv$…………⑩

(3)粒子自 P 点射出后将沿直线运动.设其由 P′点再次进入电场,则几何关系知

∠O″P′P = 30°…………⑪

三角形 OPP′为等腰三角形.设粒子在 P、P′两点间运动的时间为 t_4,有

$t_4=\frac{\overline{PP'}}{v}$…………⑫

又由几何关系知 $\overline{OP}=\sqrt{3}R$…………⑬

联立②⑫⑬式得 $t_4=\sqrt{3}\frac{m}{qB}$

例20 (2003·广东)串列加速器是用来产生高能离子的装置. 图41中虚线框内为其主体的原理示意图,其中加速管的中部b处有很高的正电势U,a、c两端均有电极接地(电势为零). 现将速度很低的负一价碳离子从a端输入,当离子到达b处时,可被设在b处的特殊装置将其电子剥离,成为n价正离子,而不改变其速度大小. 这些正n价碳离子从c端飞出后进入一与其速度方向垂直的、磁感应强度为B的匀强磁场中,在磁场中做半径为R的圆周运动,已知碳离子的质量 $m=2.0\times10^{-26}kg$, $U=7.5\times10^{5}V$, $B=0.50T$, $n=2$,基元电荷 $e=1.6\times10^{-19}C$,求R.

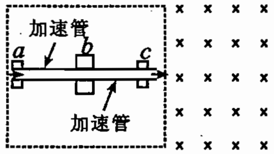


图41

【巧解】 推理法

设碳离子到达b处时速度为 v_1,从C端射出时的速度为 v_2

由能量关系得: $\frac{1}{2}mv_1^2=eU$　①

$\frac{1}{2}mv_2^2=\frac{1}{2}mv_1^2+neU$　②

进入磁场后,碳离子做圆周运动,可得:

$nev_2B=m\frac{v_2^2}{R}$　③

由以上三式可得: $R=\frac{1}{Bn}\sqrt{\frac{2mU(n+1)}{e}}$　④

由④式及题给数据可得 $R=0.75m$

例21 (2004·全国理综)空间中存在方向垂直于纸面向里的匀强磁场,磁感应强度为B,一带电量为+q、质量为m的粒子,在P点以某一初速开始运动,初速方向在图中纸面内如图42中P点箭头所示. 该粒子运动到图中Q点时速度方向与P点时速度方向垂直,如图中Q点箭头所示,已知P、Q间的距离为l,若保持粒子在P点时的速度不变,而将匀强磁场换成匀强电场,电场方向与纸面平行且与粒子在P点时速度方向垂直,在此电场作用下粒子也由P点运动到Q点,不计重力. 求:

更多资料干货关注微信公众号学习第一线超达50000G学习大礼包

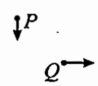


图42

(1)电场强度的大小.

(2)两种情况中粒子由P点运动到Q点所经历的时间之差.

【巧解】 推理法

设粒子初速度为 v_0,粒子在磁场中受洛仑兹力作用做匀速圆周运动,其轨迹是以O为圆心,半径为 $R=OP=\frac{\sqrt{2}}{2}l$ 的 $\frac{1}{4}$ 个圆周如图43甲所示.

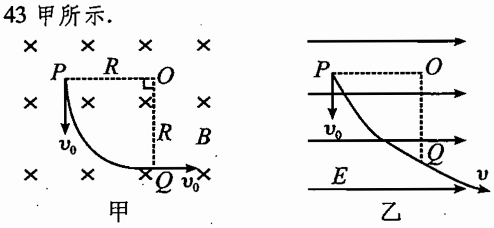


图43

由洛仑兹力充当向心力及牛顿定律,有: $qv_0B=\frac{mv_0^2}{R}$,解得 $v_0=\frac{\sqrt{2}qBl}{2m}$,从P运动到Q的时间 $t_1=\frac{T}{4}=\frac{1}{4}\times\frac{2\pi m}{qB}=\frac{\pi m}{2qB}$,若粒子在匀强电场中运动,应加如图44乙所示方向的匀强电场E,粒子作类似平抛运动,从P到Q的时间为 t_2

则 $\frac{\sqrt{2}}{2}l=v_0t_2$, $\frac{\sqrt{2}}{2}l=\frac{1}{2}\frac{Eq}{m}t_2^2$

解得: $t_2=\frac{m}{qB}$, $E=\frac{\sqrt{2}qlB^2}{m}$

两种情况下粒子从P运动到Q的时间之差为

$\Delta t=t_1-t_2=\frac{(\pi-2)m}{2qB}$

例22 一足够长的矩形区域abcd内充满磁感应强度为B,方向垂直纸面向里的匀强磁场,矩形区域的左边界ad长为L,现从ad中点O垂直于磁场射入一速度方向与ad边夹角为30°,大小为 v_0 的带正电粒子,如图44所示,已知粒子电荷量为q,质量为m(重力不计):

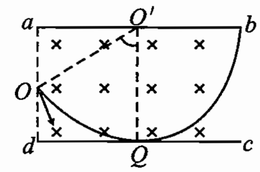


图44

(1)若要求粒子能从ab边射出磁场, v_0 应满足什么条件?

(2)若要求粒子在磁场中运动的时间最长,粒子应从哪一条边界处射出,出射点位于该边界上何处?最长时间是多少?

【巧解】 动态圆法　极值法　动态分析法

(1)当轨迹与cd边相切时,是粒子能从ab边射出磁场区域时轨迹圆半径最大的情况,设此半径为 R_1,如题图45所示分析可知 $\angle OO'Q=60°$,则有 $R_1cos60°+\frac{L}{2}=R_1$, $R_1=L$. 当轨迹圆与ab边相切时,是粒子能从ab边射出磁场区域时轨迹圆半径最小的情况,设此半径为 R_2,如图45所示分析可知 $\angle OO'Q=120°$,则有 $R_2sin30°+R_2=\frac{L}{2}$, $\therefore R_2=\frac{L}{3}$

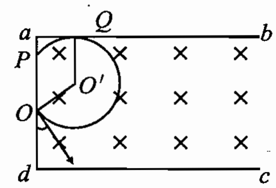


图45

故粒子从ab边射出的条件为 $R_2<R\leq R_1$,即 $\frac{L}{3}<R\leq L$,

根据 $qv_0B=m\frac{v_0^2}{R}$,得 $v_0=\frac{qBR}{m}$, $\therefore \frac{qBL}{3m}<v_0\leq\frac{qBL}{m}$

(2)由 $T=\frac{2\pi m}{qB}$,则 $\frac{t}{T}=\frac{\theta}{2\pi}\Rightarrow t=\frac{\theta}{2\pi}T$

∴粒子在磁场区域内做匀速圆周运动的圆心角越大,粒子在磁场中运动时间越长.

从两图中44可以看出,如果粒子从cd边射出,则圆心角最大为60°,若粒子从ab边射出,则圆心角最大为120°,粒子从ad边射出,圆心角最大为360°-60°=300°,由于磁场无右边界,故粒子不可能从右侧射出.

综上所示,为使粒子在磁场中运动的时间最长,粒子应从ad边射出,如图所示,设出射点到O的距离为x,从图中可以看出,P点是离O距离最大的出射点.

$\because PO=R_2=\frac{L}{3}$, $\therefore x\leq\frac{L}{3}$,即出射点到O的距离不超过 $\frac{L}{3}$,

$t_{max}=\frac{\theta_{max}}{2\pi}T=\frac{1}{2\pi}\cdot\frac{5}{3}\pi\cdot\frac{2\pi m}{qB}=\frac{5\pi m}{3qB}$.

第七章　磁场综合测试

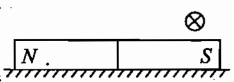
一、选择题(4 分×12 = 48 分)

1. 关于磁场和磁感线的描述,下列说法正确的是(　　)
   A. 磁感线可以形象地描述各点的磁场的强弱和方向,磁感线上每一点的切线方向都和小磁针在该点静止时 N 极所指的方向一致
   B. 异名磁极相互吸引、同名磁极相互排斥,都是通过磁场发生的相互作用
   C. 磁感线总是从磁极的 N 极出发,到 S 极终止
   D. 磁感线就是细铁屑连成的曲线

2. 在赤道平面上空沿东西方向放置一根导线,通过由西向东的电流,则此导线所受地磁场作用力的方向为(　　)
   A. 向上　　B. 向下　　C. 向南　　D. 向北

3. 关于磁感强度,下列说法正确的是(　　)
   A. 放置在磁场中 1m 长的导线,通过 1A 的电流,受到的力为 1N 时,该处磁感应强度就是 1T
   B. 通电导线所受磁场力为零,该处磁感应强度一定为零
   C. 通电导线所受磁场力为零,该处磁感应强度不一定为零
   D. 磁感应强度只是描述磁场强弱的物理量

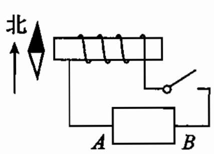
4. 条形磁铁放在水平桌面上,它的上方靠 S 极一侧吊挂一根与它垂直的导电棒,图中只画出此棒的截面图,并标出此棒中的电流是流向纸内的,在通电的一瞬间可能产生的情况是(　　)



更多资料干货 关注微信公众号 学习第一线 赠送5000G学习大礼包

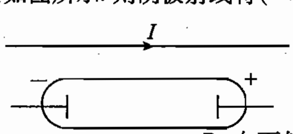
   A. 磁铁对桌面的压力减小　　B. 磁铁对桌面的压力增大
   C. 磁铁受向左的摩擦力　　D. 磁铁受向右的摩擦力

5. 实验室有一旧的学生电源,输出端的符号变得模糊不清,无法分别正、负极,小明设计了下面的判断电源两极的方法:在桌面上放一个小磁针,在磁针东面放置一个螺线管,如图,闭合开关后,磁针指南的一端向东偏转,下述判断正确的是(　　)



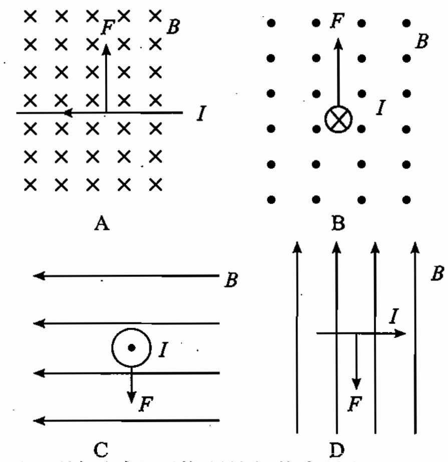
   A. 电源 A 端是正极,在电源内电流由 A 流向 B
   B. 电源 A 端是正极,在电源内电流由 B 流向 A
   C. 电源 B 端是正极,在电源内电流由 A 流向 B
   D. 电源 B 端是正极,在电源内电流由 B 流向 A

6. 在阴极射线管的正上方平行放置通以强电流的一根长直导线,其电流方向如图所示. 则阴极射线将(　　)



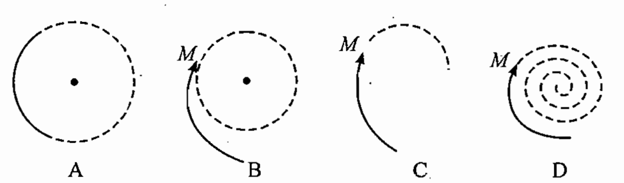
   A. 向上偏斜　　B. 向下偏斜
   C. 向纸里偏斜　　D. 向纸外偏斜

7. 下面四个图中,标出了磁场的方向、通电直导线中电流 I 的方向,以及通电直导线所受安培力 F 的方向,其中正确的是(　　)

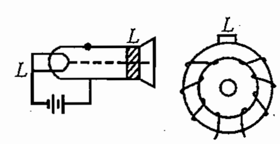


8. 带电粒子(不计重力)可能所处的状态是(　　)
   A. 在磁场中处于平衡状态
   B. 在磁场中做匀速圆周运动
   C. 在匀强磁场中做抛体运动
   D. 在匀强电场中做匀速直线运动

9. 在匀强磁场中有一带电粒子做匀速圆周运动,当它运动到 M 点,突然与一不带电的静止粒子碰撞合为一体,碰撞后的运动轨迹应是图中的哪一个?(实线为原轨迹,虚线为碰后轨迹,不计粒子的重力)(　　)

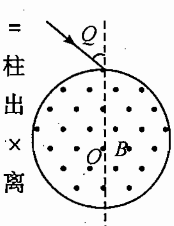


10. 如图所示为电视机显像管及其偏转线圈的示意图,如果发现电视画面幅度比正常时偏小,可能是下列哪些原因造成的(　　)



   A. 电子枪发射能力减弱,电子数减小
   B. 加速电场电压过高,电子速率偏大
   C. 偏转线圈匝间短路,线圈匝数减小
   D. 偏转线圈电流过小,偏转磁场减弱

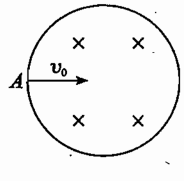
11. 在一半径为 R = 10cm 的圆柱形桶内有 $B = 10^{-4}T$ 的匀强磁场. 方向平行于轴线. 在圆柱桶某一直径两端开有小孔,作为入射孔和出射孔. 现有一离子源发射荷质比为 $\gamma = 2\times10^{11}c/kg$ 的阳离子,以 θ = 45°的角度入射,离子出射速度 v 的大小为(　　)



$A.\ \sqrt{2}\times10^{6}m/s$　　$B.\ 2\sqrt{2}\times10^{6}m/s$

$C.\ 2\sqrt{2}\times10^{8}m/s$　　$D.\ 4\sqrt{2}\times10^{6}m/s$

12. 如图所示的圆形区域里，匀强磁场的方向垂直纸面向里，有一束速率各不相同的质子自 A 点沿半径方向射入磁场，这些质子在磁场中(　　)



A. 运动时间越长，其轨迹对应圆心角越大

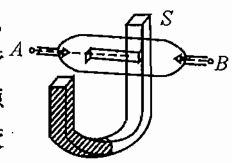
B. 运动时间越长，其轨迹越长

C. 运动时间越短，射出磁场时速率越小

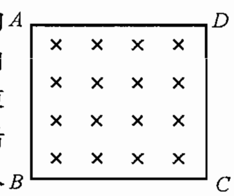
D. 运动时间越短，射出磁场时速度偏向角越小

二、非选择题(5 分×5 = 25 分)

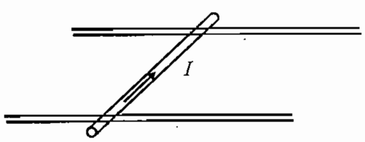
13. 如图所示，电子射线管(A 为其阴极)，放在蹄形磁铁的 N、S 两极间，射线管的 A、B 两极分别接在直流高压电源的________极和________极. 此时，荧光屏上的电子束运动径迹________偏转.(填"向上"、"向下"、"不")



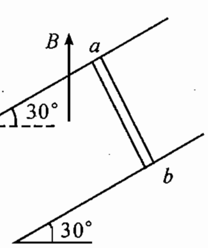
14. 如图所示，在正方形 ABCD 内有一匀强磁场，正方形的边长为 L，磁场方向垂直纸面向里，磁感应强度为 B. 一束电子流(电子质量为 m，电量为 e)，沿纸面从 AB 的中点垂直于 AB 边射入磁场，从 BC 边射出的电子中，最大速度是________在磁场中飞行的最长时间是________.



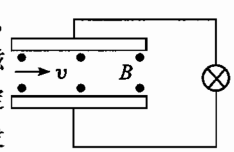
15. 如右图所示，质量为 1kg 的金属杆静止于相距 1m 的两水平轨道上，金属杆中通有方向如图所示的大小为 50A 的恒定电
更多资料干货 关注微信公众号 学习第一线 赠送5000G学习大礼包
流，两轨道间存在竖直方向的匀强磁场. 金属与轨道间的滑动摩擦系数为 0.6，欲使杆向右匀速运动，两轨道间磁场方向应为________，磁感应强度 B 的大小应为________T.



16. 如图所示，放在平行光滑导轨上的导体棒 ab 质量为 m，长为 l，导体所在平行面与水平面成30°角，导体棒与导轨垂直，空间有竖直向上的匀强磁场，磁感应强度为 B，若在导体中通以由________端至________端的电流，且电流为________时，导体棒可维持静止.

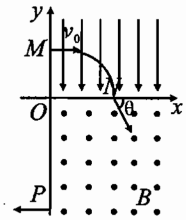


17. 如图为实验用磁流体发电机示意图，其中两极板间距离 d = 20cm，匀强磁场磁感应强度 B = 0.5T，若接入额定功率 P = 100W 的灯泡. 恰好正常发光，灯泡正常发光时电阻 R = 100Ω，不计发电机内阻，则等离子体的流速 v =______m/s. 若等离子体均为一价离子，则每秒钟有______个性质为______离子(填正负)打在上极板.



三、计算题(共 27 分)

18. (9 分，2008·天津)在平面直角坐标系 xOy 中，第 I 象限存在沿 y 轴负方向的匀强电场，第Ⅳ象限存在垂直于坐标平面向外的匀强磁场，磁感应强度为 B. 一质量为 m、电荷量为 q 的带正电的粒子从 y 轴正半轴上的 M 点以速度 v_0 垂直于 y 轴射入电场，经 x 轴上的 N 点与 x 轴正方向成 $\theta = 60°$角射入磁场，最后从 y 轴负半轴上的 P 点垂直于 y 轴射出磁场，如图所示. 不计粒子重力，求：



(1)M、N 两点间的电势差 U_{MN}；

(2)粒子在磁场中运动的轨道半径 r；

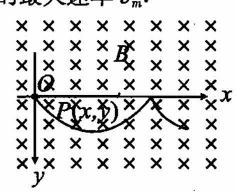
(3)粒子从 M 点运动到 P 点的总时间 t.

19. (9 分，2008·江苏)在场强为 B 的水平匀强磁场中，一质量为 m、带正电 q 的小球在 O 点静止释放，小球的运动曲线如图所示. 已知此曲线在最低点的曲率半径为该点到 x 轴距离的 2 倍，重力加速度为 g. 求：

(1)小球运动到任意位置 $P(x,y)$ 处的速度 v；

(2)小球在运动过程中第一次下降的最大距离 y_m；

(3)当在上述磁场中加一竖直向上场强为 $E(E>\frac{mg}{q})$ 的匀强电场时，小球从 O 点静止释放后获得的最大速率 v_m.

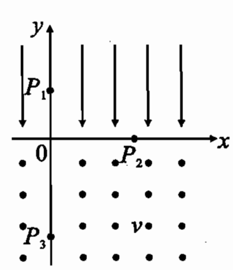


20. 如图所示，在 $y>0$ 的空间中存在匀强电场，场强沿 y 轴负方向；在 $y<0$ 的空间中，存在匀强磁场，磁场方向垂直 xy 平面(纸面)向外. 一电量为 q、质量为 m 的带正电的运动粒子，经过 y 轴上 $y = h$ 处的点 P_1 时速率为 v_0，方向沿 x 轴的正方向；然后，经过 x 轴上 $x = 2h$ 处的 P_2 点进入磁场，并经过 y 轴上 $y = -2h$ 处的 P_3 点. 不计重力. 求

(1)电场强度的大小；

(2)粒子到达 P_2 时速度的大小和方向；

(3)磁感应强度的大小.





第八章

电磁感应

难点巧学

一、巧学磁通量Φ、磁通量的变化△Φ、磁通量变化率$\frac{\triangle\Phi}{\triangle t}$

1. 磁通量Φ：穿过某一面积的磁感线的条数叫做穿过这一面积的磁通量，简称磁通. 大小：Φ = BS. S为与B垂直的面积，取S在与B垂直方向的投影，应用此式进行计算时，B应为匀强磁场. 磁通量Φ是标量. 当穿过某一面积有方向相反的磁场时，则不能直接运用Φ = BS，应该是两个相反方向的磁通量相互抵消后所剩余的磁通量.

2. 磁通量的变化量△Φ：在某一过程中，穿过某一面积的磁通量变化量. 大小计算：$\triangle\Phi=\Phi_2-\Phi_1=B\cdot\triangle S=\triangle B\cdot S$. 开始和转过180°时平面都与磁场垂直，穿过平面的磁通量是不同的，一正一负，所以，△Φ = 2BS，而不是零. 引起磁通量发生变化的常见情形有：(1)部分导体做切割磁感线运动导致发生变化；(2)线圈在磁场中转动时，有效面积发生变化；(3)磁感应强度发生变化.

更多资

3. 磁通量变化率$\frac{\triangle\Phi}{\triangle t}$：描述磁场中穿过某个面积磁通量变化的快慢的物理量. 大小计算：$\frac{\triangle\Phi}{\triangle t}=B\frac{\triangle S}{\triangle t}=\frac{\triangle B}{\triangle t}S$，它在数值上等于单匝线圈产生的感应电动势，在Φ－t图象中，图象的斜率表示$\frac{\triangle\Phi}{\triangle t}$.

例1 如图1所示，框架面积为S，框架平面与磁感应强度为B的匀强磁场方向垂直，则穿过线框平面的磁通量为________；若使框架绕轴OO′转过60°角，则穿过线框平面的磁通量为________；若从初始位置转过180°角，则穿过线框平面的磁通量的变化为________.

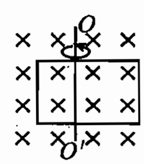


图1

【巧解】 $\Phi_1=B\cdot S$，$\Phi_2=B\cdot S\cos60°=\frac{1}{2}BS$，$\Phi_3=BS-(-BS)=2BS$.

说明：磁通量公式Φ = B · S，其中S指垂直B方向的面积，除此之外还应注意磁通量是双向标量，若设初始为正，则转过180°时为负.

二、巧学楞次定律

1. 楞次定律的应用可归结为"一原、二感、三电流"即：①确定原磁场方向；②判定原磁通如何变化（增大还是减小）；③确定感应电流的磁场方向（增反减同）；④根据安培定则判定感应电流的方向.

2. 判断闭合电路（或电路中可动部分导体）相对运动类问题的两种巧学方法：

①常规法：（增反减同）

据原磁场（$B_{原}$方向及△Φ情况）$\xrightarrow{楞次定律}$确定感应磁场（$B_{感}$方向）$\xrightarrow{安培定则}$判断感应电流（$I_{感}$方向）$\xrightarrow{左手定则}$导体受力及运动趋势.

②效果法（来则拒，去则留）

由楞次定律可知，感应电流的"效果"总是阻碍引起感应电流的"原因"，深刻理解"阻碍"的含义. 据"阻碍"原则，可直接对运动趋势作出判断，更简捷、迅速.

三、巧学法拉第电磁感应定律

1. $E=n\triangle\Phi/\triangle t$. 适用于一般回路. 若磁通量不随时间均匀变化，则$\triangle\Phi/\triangle t$为△t时间内通过该回路的磁通量的平均变化率.

2. $E=BLv\sin\theta$，适用于导体各部分以相同的速度切割磁感线的情况，式中L为导线的有效切割长度，θ为运动方向和磁感线方向的夹角. 若v为瞬时速度，则E为瞬时感应电动势. 若导体棒绕某一固定转轴旋转切割磁感线，虽然棒上各点的切割速度并不相同，但可用棒上各点的平均速度等效替代切割速度. 常用公式$E=\frac{1}{2}Bl^2\omega$.

3. 若磁感应强度B不变，回路的面积S发生变化，则$E=nB\triangle S/\triangle t$；若回路的面积S不变，磁感应强度B发生变化，则$E=nS\triangle B/\triangle t$；若磁感应强度B、回路的面积S都发生变化，则$E=n(B\triangle S/\triangle t+S\triangle B/\triangle t)$.

例2 （上海卷高考题）如图2所示，固定于水平桌面上的金属框架cdef，处在竖直向下的匀强磁场中，金属棒ab搁在框架上，可无摩擦滑动. 此时，adeb构成一个边长为l的正方形. 棒的电阻为r，其余部分电阻不计. 开始时磁感强度为B_0.

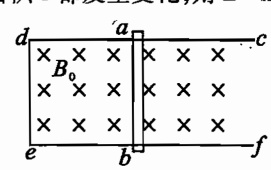


图2

(1)若从t = 0时刻起，磁感强度均匀增加，每秒增量为k，同时保持棒静止. 求棒中的感应电流. 在图上标出感应电流的方向.

(2)在上述(1)情况中. 始终保持棒静止，当$t=t_1$s末时需加的垂直于棒的水平拉力为多大？

(3)若从 t=0 时刻起，磁感强度逐渐减小，当棒以恒定速度 v_0 向右做匀速运动时，可使棒中不产生感应电流，则磁感强度应怎样随时间变化(写出 B 与 t 的关系式).

【巧解】 (1)磁感强度均匀增加时，感应电动势 $E=\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}=S\frac{\Delta B}{\Delta t}=kl^2$，感应电流：$I=\frac{E}{r}=\frac{kl^2}{r}$，由楞次定律，判定感应电流逆时针方向.

(2)$t=t_1$s 末棒静止，水平方向受拉力 $F_外$ 和安培力 $F_安$，$F_外=F_安=BIl$，又 $B=B_0+kt_1$，故 $F_外=(B_0+kt_1)\frac{kl^3}{r}$.

(3)棒中不产生感应电流，由法拉第电磁感应定律：$E=\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$，知 $\Delta\Phi=\Phi_2-\Phi_1=0$，也就是回路内总磁通量保持不变. 而在 t 时刻的磁通量：$\varphi=BS=Bl(l+v_0t)$，由 $\varphi_0=\varphi$ 可得：$B_0l^2=B(l+v_0t)l$，$B=\frac{l}{l+v_0t}B_0$，在第(3)问中，若磁场仍以 k 均匀增加，且 ab 棒向右匀速运动，则 t 时刻回路的总电动势 E 等于 ba 棒切割磁感线产生的 E_{ba} 与磁场增强产生的感应电动势 $E_法$ 之和. $E_{ba}=(B_0+kt)lv$，$E_法=\frac{l(l+vt)\Delta B}{\Delta t}=lk(l+vt)$，故得：$E=(B_0+kt)lv+lk(l+vt)$.

四、求电量的两种巧解方法

1. 利用法拉第电磁感应定律求解

求解电量的公式推导：

电量表达式：$q=\bar{I}\Delta t$；

闭合电路欧姆定律：$I=\frac{E}{R+r}$；

更多资料干货 关注微信公众号 学习…线 赠送5000G学习大礼包

法拉第电磁感应定律：$E=n\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$，式中求得的 E 亦为平均值；

综合上面三式，得

$$q=\bar{I}\Delta t=\frac{E}{R+r}\Delta t=n\frac{\Delta\Phi}{(R+r)\Delta t}\Delta t=n\frac{(\Delta\Phi)}{(R+r)}$$

例3 放在绝缘水平面上的两条平行导轨 MN 和 PQ 之间宽度为 L，置于磁感应强度为 B 的均强磁场中，B 的方向垂直于导轨平面，导轨左端接有阻值为 R 的电阻，其他部分电阻不计，导轨右端接一电容为 C 的电容器，长为 2L 的金属棒放在导轨上与导轨垂直且接触良好，其 a 端放在导轨 PQ 上，现将金属棒以 a 端为轴，以角速度 ω 沿导轨平面顺时针旋转 90°角，如图 3 所示，求这个过程中通过电阻 R 的总电量是多少？(设导轨长度比 2L 长得多)

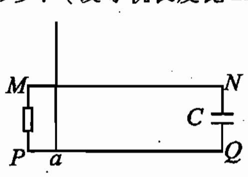


图 3

【巧解】 从 ab 棒以 a 端为轴旋转切割磁感线，直到 b 端脱离导轨的过程中，其感应电动势不断增大，对 C 不断充电，同时又与 R 构成回路.

由上面的推导公式知通过 R 的电量 $q=n\frac{\Delta\Phi}{(R+r)}=\frac{B\Delta S}{R}$，式中 ΔS 等于 ab 所扫过的三角形 aDb′ 的面积，如图 4 所示，所以 $\Delta S=\frac{1}{2}L\cdot\sqrt{3}L=\frac{\sqrt{3}}{2}L^2$.

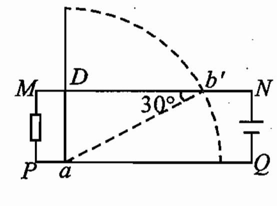


图 4

根据以上两式得 $q=\frac{\sqrt{3}BL^2}{2R}$ 当 ab 棒运动到 b′ 时，电容 C 上所带电量为 $q'=CU_c$，此时 $U_C=E_m$，而 $E_m=B\times2L\times\frac{v}{2}=2BL^2\omega$，所以 $q'=2BL^2\omega C$.

当 ab 脱离导轨后，C 对 R 放电，通过 R 的电量为 q′，所以整个过程中通过 R 的总电量为 $q_总=q+q'=\frac{\sqrt{3}BL^2}{2R}+2BL^2\omega C=BL^2(\frac{\sqrt{3}}{2R}+2\omega C)$.

2. 利用动量定律求解

求解电量的公式推导：

电量表达式：$q=\bar{I}\Delta t$；

动量定理：$F_合\Delta t=\Delta p$，公式中的 $F_合$ 也是时间 Δt 内的平均值，在 $F_合$ 为金属棒受到的安培力时，有 $F_安\Delta t=\Delta p$；

安培力：$F_安=B\bar{I}L$；

综合上面三式，得 $q=\frac{\Delta p}{BL}$.

例4 (上海高考题)如图 5 所示，长为 L，电阻 r=0.3Ω，质量 m=0.1kg 的金属棒 CD 垂直跨搁在位于水平面上的两条平行光滑金属导轨上，两导轨间距也是 L，棒与导轨间接触良好，导轨电阻不计，导轨左端接有 R=0.5Ω 的电阻，量程为 0～3.0A 的电流表串接在一条导轨上，量程为 0～1.0V 的电压表接在电阻 R 的两端，垂直导轨平面的匀强磁场向下穿过平面，现以向右恒定外力 F 使金属棒右移，当金属棒以 v=2m/s 的速度在导轨平面上匀速滑动时，观察到电路中的一个电表正好满偏，而另一个电表未满偏，问：

(1)此时满偏的电表是什么表？说明理由.

(2)拉动金属棒的外力 F 多大？

(3)此时撤去外力 F，金属棒将逐渐慢下来，最终停止在导轨上，求从撤去外力到金属棒停止运动的过程中通过电阻 R 的电量.

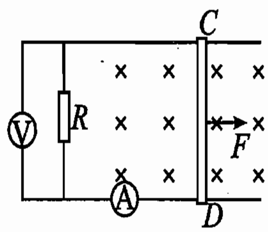


图 5

【巧解】 (1)电压表满偏，若电流表满偏，则 I=3A，U=IR=1.5V，大于电压表量程.

(2)由功能关系，$Fv=I^2(R+r)$，而 $I=\frac{U}{R}$，∴ $F=\frac{U^2(R+r)}{R^2v}$，代入数据得 F=1.6N.

(3)由上面的推导公式 $q=\frac{\Delta p}{BL}$；

电磁感应定律 E=BLv；闭合电路欧姆定律 E=I(R+r)；解得 $q=\frac{mv^2}{I(R+r)}$ 代入数据得 q=0.25C.

五、电磁感应中综合问题

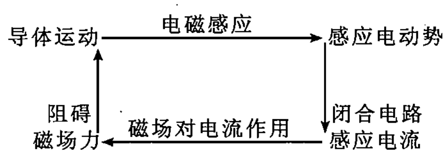
电磁感应中的综合问题往往涉及力学知识(如牛顿运动定律、功、动能定理、动量和能量守恒定律等)、电学知识(如电磁感应定律、楞次定律、直流电路知识、磁场知识等)等多个知识点,突出考查理解能力、分析综合能力,尤其从实际问题中抽象概括构建物理模型的创新能力. 其具体应用可分为以下两个方面:

(1)受力情况、运动情况的动态分析. 思考方向是:导体受力运动产生感应电动势→感应电流→通电导体受安培力→合外力变化→加速度变化→速度变化→感应电动势变化→……,周而复始,循环结束时,加速度等于零,导体达到稳定运动状态. 要画好受力图,抓住 $a=0$ 时,速度 v 达最大值的特点;

(2)功能分析,电磁感应过程往往涉及多种能量形势的转化. 因此,从功和能的观点入手,分析清楚电磁感应过程中能量转化的关系,往往是解决电磁感应问题的重要途径.

1. 电磁感应与力和运动结合的问题,研究方法与力学相同.

解决此类问题首先要建立一个"动→电→动"的思维顺序. 此类问题中力现象、电磁现象相互联系、相互制约和影响,其基本形式如下:



分析方法和步骤可概括为:

(1)找准主动运动(即切割磁感线)者,用法拉第电磁感应定律和楞次定律求解电动势大小和方向.

(2)根据等效电路图,求解回路电流大小及方向.

(3)分析导体棒的受力情况及导体棒运动后对电路中电学参量的"反作用".

(4)从宏观上推断终极状态.

(5)列出动力学方程或平衡方程进行求解.

例5 (2004·上海卷)水平面上两根足够长的金属导轨平行固定放置,间距为 L,一端通过导线与阻值为 R 的电阻连接;导轨上放一质量为 m 的金属杆(见图6),金属杆与导轨的电阻忽略不计;均匀磁场竖直向下. 用与导轨平行的恒定拉力 F 作用在金属杆上,杆最终将做匀速运动. 当改变拉力的大小时,相对应的匀速运动速度 v 也会变化,v 与 F 的关系如图7.(即重力加速度 $g=10m/s^2$)

(1)金属杆在匀速运动之前做什么运动?

(2)若 $m=0.5kg$, $L=0.5m$, $R=0.5\Omega$;磁感应强度 B 为多大?

(3)由 v-F 图线的截距可求得什么物理量?其值为多少?

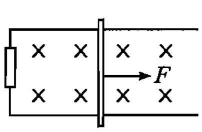


图6

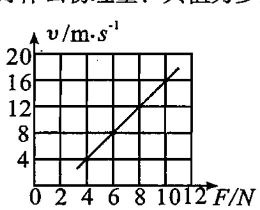


图7

【巧解】 (1)变速运动(或变加速运动、加速度减小的加速运动,加速运动).

(2)感应电动势 $E=vBL$,感应电流 $I=\frac{E}{R}$,安培力 $F_M=IBL=\frac{vB^2L^2}{R}$,由图线可知金属杆受拉力、安培力和阻力作用,匀速时合力为零. $F=\frac{vB^2L^2}{R}+f$

$\therefore v=\frac{R}{B^2L^2}(F-f)$

由图线可以得到直线的斜率 $k=2$, $\therefore B=\sqrt{\frac{R}{kL^2}}=1T$

(3)由直线的截距可以求得金属杆受到的阻力 f, $f=2(N)$

若金属杆受到的阻力仅为动摩擦力,由截距可求得动摩擦因数 $\mu=0.4$.

2. 电磁感应现象中的电路问题

电磁感应定律与闭合电路欧姆定律结合运用,关键是画出等效电路图. 注意分清内、外结构,产生感应电动势的那部分导体是电源,即内电路,如果在一个电路中切割磁感线的是几部分但又相互联系,可等效成电源的串并联. 电路中某两点的电势差一般指外电压或外路中某用电器两端电压,一般并不等于电源的电动势. 在电源外部电流由电势高处流向电势低处,在电源内部电流由电势低处流向电势高处.

例6 (上海高考题)半径为 a 的圆形区域内有均匀磁场. 磁感应强度为 $B=0.2T$. 磁场方向垂直于纸面向里. 半径为 b 的金属圆环与磁场同心地放置. 磁场与环面垂直. 其中 $a=0.4m$, $b=0.6m$. 金属环上分别接有灯 L_1、L_2. 两灯的电阻均为 $R_0=2\Omega$ 一金属棒 MN 与金属环接触良好,棒与环的电阻均忽略不计.

(1)若棒以 $v_0=5m/s$ 的速率在环上向右匀速运动,求棒滑过圆环直径 OO′的瞬时(如图8所示)MN 中的电动势和流过灯 L_1 的电流.

(2)撤去中间的金属棒 MN,将右面的半圆环 OL_2O' 以 OO′为轴向上翻转90°. 若此时磁场随时间均匀变化,其变化率为 $\frac{\Delta B}{\Delta t}=\frac{4}{\pi}$ T/s,求 L_1 的功率.

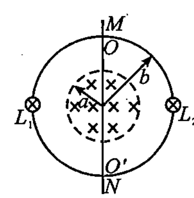


图8

【巧解】 (1)环直径 OO′的瞬时,MN 中的电动势 $E_1=B2av=0.2\times0.8\times5=0.8V$ ①

等效电路如图9(a)所示,流过灯 L_1 的电流

$I_1=E_1/R=0.8/2=0.4A$ ②

(2)撤去中间的金属棒 MN,将右面的半圆环 OL_2O' 以 OO′为轴向上翻转90°,半圆环 OL_1O' 中产生感应电动势,相当于电源,灯 L_2 为外电路,等效电路如图9(b)所示,感应电动势 $E_2=\Delta\Phi/\Delta t=0.5\times\pi a^2\times\Delta B/\Delta t=0.32V$ ③

L_1 的功率 $P_1=(E_2/2)^2\cdot R=1.28\times10^{-2}W$.

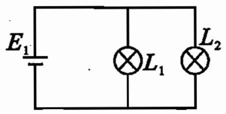


图 9(a)

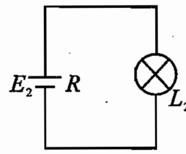


图 9(b)

3. 电磁感应现象中的能量转化与守恒问题

电磁感应现象中，产生的电能是其他形式的能转化来的，外力克服安培力做多少功，就有多少电能产生. 从能量转化和守恒的观点看，楞次定律描述了其他形式的能通过磁场转化为电能的规律，楞次定律是能量守恒定律在电磁感应现象中的具体表现，电磁感应现象是能量守恒定律的重要例证，也是解决一些电磁感应问题的重要方法.

例 7　有一种磁性加热装置，其关键部分由焊接在两个等大的金属圆环上的 n 根（n 较大）间距相等的平行金属条组成，呈"鼠笼"状，如图 10 所示. 每根金属条的长度为 l、电阻为 R，金属环的直径为 D，电阻不计. 图中的虚线所示的空间范围内存在着磁感强度为 B 的匀强磁场，磁场的宽度恰好等于"鼠笼"金属条的间距，当金属笼以角速度 ω 绕通过两圆环的圆心的轴 OO′旋转时，始终有一根金属条在垂直切割磁感线."鼠笼"的转动由一台电动机带动，这套设备的效率为 η，求：电动机输出的机械功率.

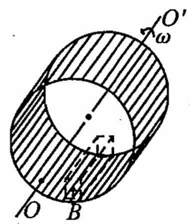


图 10

【巧解】　每一根金属条"切割"产生的感应电动势为

$E = Blv = Bl\omega\dfrac{D}{2}$　①

更多资料下载关注微信公众号 学习第一线 赠送5000G学习大礼包

整个"鼠笼"产生的电热功率为：$P_{电} = \dfrac{E^2}{R_{外} + r}$　②

每根做"切割"运动的金属条就相当于电源，故内阻 r = R，其余 n − 1 根金属条并在两圆环之间相当于并联着的外电阻：$R_{外} = \dfrac{R}{n-1}$，所以 $R_{外} + r = \dfrac{R}{n-1} + R = \dfrac{nR}{n-1}$　③

此装置的传输效率为 $\eta = P_{电}/P_{机}$　④

由①②③④可得电动机的输出功率为：$P_{机} = \dfrac{(n-1)B^2l^2\omega^2D^2}{4nR\eta}$.

4. 磁感应定律应用中的图象问题

电磁感应问题中的图象问题，回路中的感应电动势 e、感应电流 i，磁感强度 B 的方向，在相应的 e − t 图、i − t 图、B − t 图中是用正、负值来反映的.

电磁感应现象中图象问题的分析，关键是要抓住磁通量的变化是否均匀，从而推知感应电动势（电流）是否大小恒定. 用楞次定律判断感应电动势（或电流）的方向，从而确定其正负，以及在坐标中的范围.

分析回路中的感应电动势或感应电流的大小及其变化规律，要利用法拉第电磁感应定律来分析. 有些图象问题还要画出等效电路来辅助分析.

另外，要正确解决图象问题，必须能根据图象的定义把图象反映的规律对应到实际过程中去，又能根据实际过程的抽象规定对应到图象中去，最终根据实际过程的物理规律判断，这样才抓住了解决图象问题的根本.

例 8　如图 11 所示，一个由导体做成的正三角形线圈，以恒定速率 v 运动，从无磁场区进入匀强磁场区，然后出来. 若取逆时针方向为电流正方向，那么图 12 中的哪一个图线能正确地表示电路中电流与时间的函数关系？（　　）

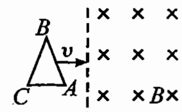
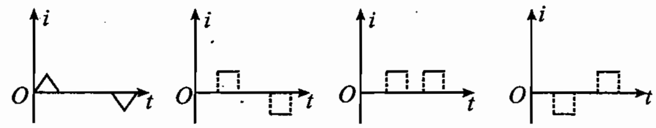


图 11



A　　B　　C　　D

图 12

【巧解】　进入磁场过程中，有效切割长度 l 均匀增大后均匀减小，离开磁场时有效切割长度 L 先均匀增大后均匀减小，方向相反，正确选项为 A 图.

5. 电磁感应中的线圈、导体棒和滑轨类问题

在解答此类问题时，常常要综合应用电磁学和力学的有关规律，比如电磁学中的楞次定律、法拉第电磁感应定律、左右手定则等，力学中的牛顿运动定律、动量定理、动能定理、动量守恒定律、机械能守恒定律等，因此解决好此类问题是提高综合应用知识能力的有效措施.

例 9　如图 13 所示，水平的平行虚线间距为 d = 50cm，其间有 B = 1.0T 的匀强磁场. 一个正方形线圈边长为 l = 10cm，线圈质量 m = 100g，电阻为 R = 0.020Ω. 开始时，线圈的下边缘到磁场上边缘的距离为 h = 80cm. 将线圈由静止释放，其下边缘刚进入磁场和刚穿出磁场时的速度相等. 取 $g = 10m/s^2$，求：

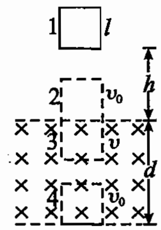


图 13

(1) 线圈进入磁场过程中产生的电热 Q，

(2) 线圈下边缘穿越磁场过程中的最小速度 v，

(3) 线圈下边缘穿越磁场过程中加速度的最小值 a.

【巧解】　(1) 由于线圈完全处于磁场中时不产生电热，所以线圈进入磁场过程中产生的电热 Q 就是线圈从图中 2 位置到 4 位置产生的电热，而 2、4 位置动能相同，由能量定恒得：Q = mgd = 0.50J.

(2) 3 位置时线圈速度一定最小，而 3 到 4 线圈是由自落体运动因此有 $v_0^2 - v^2 = 2g(d - l)$，得 $v = 2\sqrt{2}m/s$.

(3) 2 到 3 是减速过程，因此安培力 $F = \dfrac{B^2l^2v}{R}$ 减小，由 F − mg = ma 知加速度减小，到 3 位置时加速度最小，$a = 4.1m/s^2$.

6. 自感现象

(1) 自感现象作为一种特殊的电磁感应现象，是由于流过过导体自身的电流的变化而引起的，由楞次定律知，产生的感应电动势

(自感电动势)又必将阻碍着电流的这一变化,正是由于这种阻碍,使得自感现象具备一个重要的特征:自感现象中产生自感电动势,致使电流一般只能是逐渐变化而不可能发生突变.

(2)自感系数 L:

①决定因素:由线圈本身的性质决定,与线圈中的电流及线圈两端的电压均无关. ②大小关系:线圈越长,单位长度上的匝数越多,截面积越大,它的自感系数越大,线圈加了铁芯,自感系数也会增大. ③L 的物理意义:在线圈中电流强度的变化率相同的情况下,L 越大,则自感电动势越大,自感现象越明显,说明 L 是表示线圈自感能力的物理量.

例 10 (2010 江苏卷)如图 14 所示的电路中,电源的电动势为 E,内阻为 r,电感 L 的电阻不计,电阻 R 的阻值大于灯泡 D 的阻值,在 $t=0$ 时刻闭合开关 S,经过一段时间后,在 $t=t_1$ 时刻断开 S,下列表示 A、B 两点间电压 U_{AB} 随时间 t 变化的图像中,正确的是(　　)

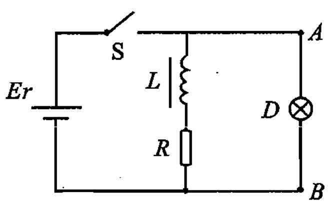


图 14

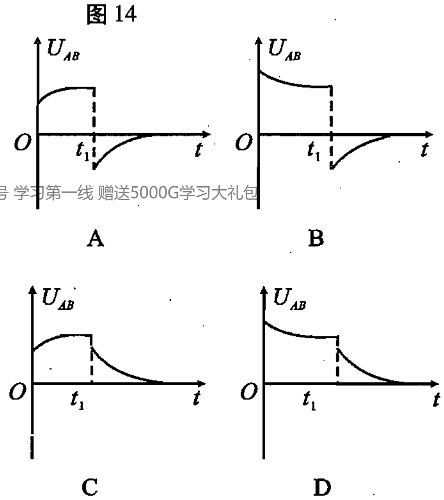


图 15

【巧解】 推理法

$t=0$ 时刻闭合开关 S 后,由于 L 的感抗作用,干路电流 $I_干$ 逐渐增大,路端电压 $U_端$ 逐渐减小;经过一小段时间后,L 的感抗作用消失后,电路达到稳定状态,路端电压 $U_端$ 恒定.

$t=t_1$ 时刻断开开关 S 后,由于 L 的自感作用,L 中的电流将维持原来方向并从 I_R 开始逐渐减小;因为 $R>R_D$,所以闭合开关 S 电路达到稳定状态时 $I_R<I_D$,因此开关 S 断开后,D 中电流方向发生改变,大小从 I_D 突变为 I_R 并逐渐减小到零.

更多资料干货 关注微信公众号 学习第一线 赠送5000G学习大礼包

【巧解】 B

活题巧解

例 1 如图 16 所示,当磁铁突然向铜环运动时,铜环的运动的情况是(　　)

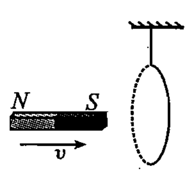


图 16

A. 受力向右　　B. 受力向左

C. 受力向上　　D. 受力为零

【巧解】 微元法

画出磁铁磁感线分布如图 17,当有磁铁突然向铜环运动时,由楞次定律判断出铜环的感应电流方向如图,把铜环的电流等效为多段直线电流元,取上下两小段电流研究,由左手定则判断出两段电流受力如图 2 所示,由此可联想到整个铜环受力向右,故选 A.

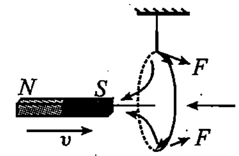


图 17

例 2 如图 18 所示,有两个同心导体圆环. 内环中通有顺时针方向的电流,外环中原来无电流. 当内环中电流逐渐增大时,外环中有无感应电流? 方向如何?

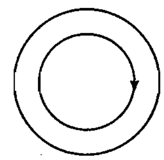


图 18

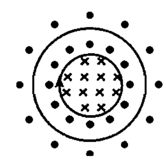


图 19

【巧解】 守恒法

由于磁感线是闭合曲线,内环内部向里的磁感线条数和内环外向外的所有磁感线条数相等,所以外环所围面积内的总磁通向里、增大,所以外环中感应电流磁场的方向为向外,如图 19 所示,由安培定则,外环中感应电流方向为逆时针.

例 3 如图 20 所示,MN 是一根固定的通电长直导线,电流方向向上,今将一金属线框 $abcd$ 放在导线上,让线框的位置偏向导线的左边,两者彼此绝缘,当导线中的电流 I 突然增大时,线框整体受力情况为(　　)

A. 受力向右

B. 受力向左

C. 受力向上

D. 受力为零

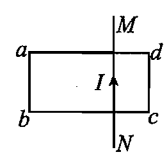


图 20

【巧解】 推理法

首先判断由于电流 I 增大使穿过回路 $abcd$ 的磁通量 Φ 增大还是减小,由于线框位置偏向导线左边,线圈内左边部分磁感线穿出,右边部分磁感线穿入,而整个线框中的合磁通量是穿出的,并且随电流增大而增大,再用"阻碍磁通量变化"来考虑线框受磁场力而将要发生运动的方向,显然线框只有向右发生运动,才与阻碍合磁通量增加相符合,因此线框受的合磁场力应向右,正确选项为 A.

例 4 如图 21 所示,PO 与 QO 是两根夹 60°角的光滑金属导轨,磁感应强度为 B 的匀强磁场垂直于导轨平面,区域足够大. 金属滑杆 MN 垂直于∠POQ 的平分线搁置,导轨和滑杆单位长度的电阻为 r,在外力作用下滑杆从距 O 为 a 的地方以速度 v 匀速滑至距 O 为 b 的地方,试求:右滑全过程中,滑杆所产生的热量.

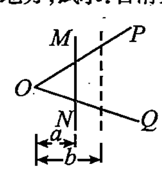


图 21

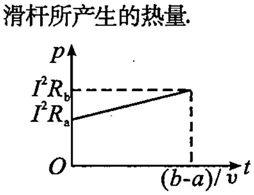


图 22

【巧解】 图象法

任意时刻感应电动势表达式：$E=2B(a+vt)v/\sqrt{3}$；$I=Bv/3r$，电流为一恒定值，但滑杆接入电路部分的电阻随时间均匀增加，画出滑杆的发热功率随时间变化的图象，如图22所示，在整个滑动过程中滑杆发出的焦耳热可用图线与 t 轴所夹图形的面积表示，解得：$Q=\sqrt{3}B^2v(b^2-a^2)/27r$.

例5 A、B 两闭合圆形导线环用相同规格的导线制成，它们的半径之比 $r_A:r_B=2:1$，在两导线环包围的空间内存在一正方形边界的匀强磁场区域，磁场方向垂直于两导线环的平面，如图23所示，当磁场的磁感应强度随时间均匀增大的过程中，求两导线环内所产生的感应电动势之比和流过两导线环的感应电流的电流之比.

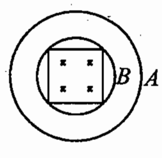


图23

【巧解】 假设法

匀强磁场的磁感应强度随时间均匀变化，设 t 时刻的磁感应强度为 B_t，则 $B_t=B_0+kt$，其中 B_0 为 $t=0$ 时的磁感应强度，k 为一常数，A、B 两导线环的半径不同，它们所包围的面积不同，但某一时刻穿过它们的磁通量均为穿过磁场所在区域面积上的磁通量，设磁场区域的面积为 S，则 $\Phi_t=B_t\cdot S$，即在任一时刻穿过两导线环包围面上的磁通量是相等的，所以两导线环上的磁通量变化率是相等的.

由 $E=\dfrac{\Delta\Phi}{\Delta t}$ 得：$E=\dfrac{\Delta B}{\Delta t}\cdot S$（$S$ 为磁场区域面积），对 A、B 两导线环，由于 $\dfrac{\Delta B}{\Delta t}$ 及 S 均相同，得 $\dfrac{E_A}{E_B}=1$，$I=\dfrac{E}{R}$，$R=\rho\dfrac{l}{S_1}$（S_1 为导线的横截面积）. $l=2\pi r$. 所以 $\dfrac{I_A}{I_B}=\dfrac{E_Ar_B}{E_Br_A},=\dfrac{1}{2}$.

更多干货 关注微信公众号 学习第一线 赠送5000G学习大礼包

例6 如图24所示电路中，A、B 是相同的两小灯，L 是一个带铁芯的线圈，电阻可不计，调节 R，电路稳定时两灯都正常发光，则在开关合上和断开时（　　）

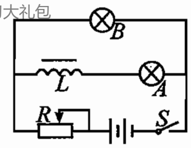


图24

A. 两灯同时点亮、同时熄灭

B. 合上 S 时，B 比 A 先到达正常发光状态

C. 断开 S 时，A、B 两灯都不会立即熄灭，通过 A、B 两灯的电流方向都与原电流方向相同

D. 断开 S 时，A 灯会突然闪亮一下后再熄灭

【巧解】 推理法

合上 S，B 灯立即正常发光. A 灯支路中，由于 L 产生的自感电动势阻碍电流增大，A 灯将推迟一些时间才能达到正常发光状态. B 正确，断开 S，L 中产生与原电流方向相同的自感电动势，流过 B 灯的电流与原电流反向. 因为断开 S 后，由 L 作为电源的供电电流是从原来稳定时通过 L 中的电流值逐渐减小的，所以 A、B 两灯只是延缓一些时间熄灭，并不会比原来更亮.

例7 如图25所示，两根金属导轨平行放置在倾角为 $\theta=30°$ 的斜面上，导轨左端接有电阻 $R=10\Omega$，导轨自身电阻忽略不计. 匀强磁场垂直于斜面向上，磁感强度 $B=0.5\text{T}$. 质量为 $m=0.1\text{kg}$，电阻可不计的金属棒 ab 静止释放，沿导轨下滑（金属棒 ab 与导轨间的摩擦不计）. 设导轨足够长，导轨宽度 $L=2\text{m}$，金属棒 ab 下滑过程中始终与导轨接触良好，当金属棒下滑 $h=3\text{m}$ 时，速度恰好达到最大值. 求此过程中金属棒达到的最大速度.

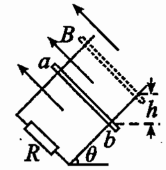


图25

【巧解】 平衡法

当金属棒速度恰好达到最大速度时，受力分析，则 $mg\sin\theta=F_{安}$，解得：$F_{安}=0.5\text{N}$

据法拉第电磁感应定律：$E=BLv$

据闭合电路欧姆定律：$I=\dfrac{E}{R}$　$\therefore F_{安}=BIL$

由以上各式解得最大速度 $v=5\text{m/s}$.

例8 （2003·上海）如图26所示，$OACO$ 为置于水平面内的光滑闭合金属导轨，O、C 处分别接有短电阻丝（图中用粗线表示），$R_1=4\Omega$，$R_2=8\Omega$（导轨其他部分电阻不计）. 导轨 OAC 的形状满足 $y=2\sin(\dfrac{\pi}{3}x)$（单位：m）. 磁感应强度 $B=0.2\text{T}$ 的匀强磁场方向垂直于导轨平面. 一足够长的金属棒在水平外力 F 作用下，以恒定的速率 $v=5.0\text{m/s}$ 水平向右在导轨上从 O 点滑动到 C 点，棒与导轨接触良好且始终保持与 OC 导轨垂直，不计棒的电阻. 求：(1) 外力 F 的最大值；(2) 金属棒在导轨上运动时电阻丝 R_1 上消耗的最大功率；(3) 在滑动过程中通过金属棒的电流 I 与时间 t 的关系.

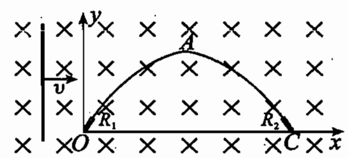


图26

【巧解】 等效法

(1) 金属棒匀速运动：$F_{外}=F_{安}=B\times\dfrac{BLv}{R_{并}}\times L$　①

其中 $R_{并}=\dfrac{R_1\cdot R_2}{R_1+R_2}$　②

当棒滑至 OAC 中点时，等效 L 最大，此时所需外力最大.

$L_{Max}=2\times\sin 90°=2\text{m}$　③

联立①②③解得：$F_{Max}=\dfrac{(BL_{Max})^2v}{\dfrac{R_1\cdot R_2}{R_1+R_2}}$

$=\dfrac{(0.2\times2)^2\times5\times(4+8)}{4\times8}=0.3\text{N}$.

(2) 电阻丝 R_1 上消耗的最大功率：

$P_1=\dfrac{E^2}{R_1}=\dfrac{(0.2\times2\times5)^2}{4}=1\text{W}$.

(3) 金属棒与导轨接触点间的长度随时间变化 $y=2\sin(\dfrac{\pi}{3}x)$，且 $x=vt$，$E=BLv$，所以，通过金属棒的电流 I 与时间 t 的关系是：

$$I=\frac{E}{R_{并}}=\frac{B\times2\sin(\frac{\pi}{3}\times vt)\times v}{R_{并}}=\frac{0.2\times2\times\sin(\frac{5\pi}{3}t)\times5}{\frac{4\times8}{4+8}}$$

$=\dfrac{3}{4}\sin(\dfrac{5\pi}{3}t)$. $t\in[0,0.6\text{s}]$

例9 图27中 $PQRS$ 为一正方形导线框，它以恒定速度向右进入以 MN 为边界的匀强磁场，磁场方向垂直线框平面，MN 线与线框的边成45°角. E、F 分别为 PS 和 PQ 的中点，关于线框

中感应电流,正确的说法是(　　)

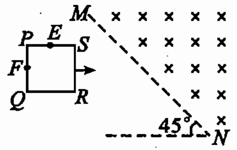


图 27

A. 当 E 点经过边界 MN 时,线框中感应电流最大

B. 当 P 点经过边界 MN 时,线框中感应电流最大

C. 当 F 点经过边界 MN 时,线框中感应电流最大

D. 当 Q 点经过边界 MN 时,线框中感应电流最大

【巧解】 公式法

用 $E=\frac{\Delta\phi}{\Delta t}$ 求解. 因为边界 MN 与线框的边成 45°角,线框匀速向右进入磁场时,开始时(S 点刚过边界 MN)$\frac{\Delta\phi}{\Delta t}$ 小,而后逐渐增大,到线框对角线 PR 进入磁场时 $\frac{\Delta\phi}{\Delta t}$ 最大,而后 $\frac{\Delta\phi}{\Delta t}$ 又逐渐减小,当 Q 点进入磁场后 $\frac{\Delta\phi}{\Delta t}=0$,可见,当 P 点经过边界 MN 时线框的感应电流最大. 故选 B.

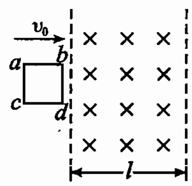


图 28

例 10 如图 28 所示,在光滑的水平面上,有一竖直向下的匀强磁场,分布在宽度为 l 的区域内. 现有一边长为 a(其中 $a<l=$ 的正方形闭合线框),以垂直与磁场边界的初速度 v_0 滑过磁场,线框刚好能穿过磁场. 则线框在滑进磁场过程中产生的热量 Q_1 和滑出磁场过程中产生的热量 Q_2 之比为(　　)

A. 1:1　　B. 2:1　　C. 3:1　　D. 4:1

【巧解】 推理法

更多资料干货关注微信公众号:学习第一线,赠送5000G学习大礼包

设磁场磁感应强度为 B,线框电阻为 R,刚好完全滑进磁场时速度为 v,在此过程中线框因受到安培力产生的平均冲量 $\overline{F}t=m\Delta v$. 线框横截面通过的电量:$\Delta Q=\overline{I}t$. 即在线框在滑进磁场过程中:$\overline{F}_1t_1=m(v_0-v)=Ba\Delta Q_1$　　①

在磁场中,$\Delta Q=\frac{\Delta\phi}{R}$　　②

所以,$\overline{F}_1t_1=m(v_0-v)=Ba\Delta Q_1=Ba\frac{\Delta\phi}{R}$　　③

在线框在滑出磁场过程中,同样有:$\overline{F}_2t_2=m\Delta v=Ba\Delta Q_2=Ba\frac{\Delta\phi}{R}$　　④

$\overline{F}_2t_2=m(v-0)=Ba\Delta Q_2$　　⑤

联立④⑤两式,得:$v=\frac{v_0}{2}$

所以,在线框完全滑进磁场过程中产生的热量:

$Q_1=\frac{1}{2}mv_0^2-\frac{1}{2}mv^2=\frac{3}{8}mv_0^2$

在线框完全滑出磁场过程中产生的热量:

$Q_2=\frac{1}{2}mv^2=\frac{1}{8}mv_0^2$

得　$\frac{Q_1}{Q_2}=\frac{3}{1}$,应选 C 项.

例 11 如图 29 所示,两根竖直放置在绝缘地面上的金属导轨的上端,接有一个电容为 C 的电容器,框架上有一质量为 m、长为 l 的金属棒,平行于地面放置,与框架接触良好且无摩擦,棒离地面的高度为 h,磁感强度为 B 的匀强磁场与框架平面垂直,开始时,电容器不带电,将金属棒由静止释放,问:棒落地时的速度为多大?(整个电路电阻不计)

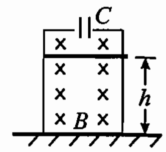


图 29

【巧解】 微元法

金属棒向下加速,因而电路中有给电容器充电形成的电流,金属棒除了重力外,还受安培力作用.

设在很短一段时间 Δt 内,电容极板上增加了电量 ΔQ 时,电路中瞬间电流为:$I=\frac{\Delta Q}{\Delta t}$,而 $Q=CUc$,$\Delta Q=C\Delta Uc$,又因电路无电阻,故电源路端电压 $U=E=Blv$,而 $U=Uc$,有 $\Delta Uc=BL\Delta v$.

$\therefore I=\frac{\Delta Q}{\Delta t}=\frac{C\Delta U_c}{\Delta t}=C\cdot\frac{BL\Delta v}{\Delta t}=CBla$　　①

根据牛顿第二定律:$mg-BIl=ma$　　②

由①②得:$a=\frac{mg}{m+CB^2l^2}$,$a=$恒量,

所以,金属棒做匀加速运动,落地瞬时速度:$v=\sqrt{2ah}=\sqrt{\frac{2mgh}{m+CB^2l^2}}$

例 12 电阻为 R 的矩形导线框 $abcd$,边长 $ab=l$,$ad=h$,质量为 m. 自某一高度自由落下,通过一匀强磁场,磁场方向垂直纸面向里,磁场区域的宽度为 h,如图 30 所示. 若线框恰好以恒定速度通过磁场,线框中产生的焦耳热是________(不考虑空气阻力).

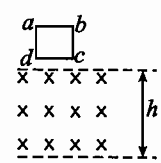


图 30

【巧解】 守恒法

线框在穿越磁场区下落的过程中,重力做功 $2mgh$,但动能没增加(重力势能减小),原因是安培力做负功能机械能转化为电能,再转化为内能. 所以本题也可以从能量转化时守恒直接得出产生的焦耳热等于减少的机械能,即 $2mgh$.

例 13 如图 31 所示,足够长的光滑平行导轨水平放置,电阻不计,MN 部分的宽度为 $2l$,PQ 部分的宽度为 l,金属棒 a 和 b 的质量 $m_a=2m_b=2m$,其电阻大小 $R_a=2R_b=2R$,a 和 b 分别在 MN 和 PQ 上,垂直导轨相距足够远,整个装置处于竖直向下的匀强磁场中,磁感强度为 B,开始 a 棒向右速度为 v_0,b 棒静止,两棒运动时始终保持平行且 a 总在 MN 上运动,b 总在 PQ 上运动,求 a、b 最终的速度.

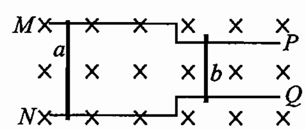


图 31

【巧解】 隔离法

本题由于两导轨的宽度不等,a、b 系统动量不守恒,可对 a、b 分别用动量定理. a 运动产生感应电流,a、b 在安培力的作用下,分别作减速和加速运动,b 的运动产生了反电动势. 回路的 $E_{总}=E_a-E_b=2Blv_a-Blv_b$

随着 v_a 减小,v_b 增加,$E_{总}$ 减小,安培力 $F=E_{总}lB/(3R)$ 也随之减小,故 a 棒的加速度 $a=F_a/(2m)$ 减小,b 棒的加速度 $a'=F_b/m$ 也减小.

当 $E_{总}=0$,即 $2Blv_a=Blv_b$ 时,两者加速度为零,两棒均匀速

运动，且有 $v_b=2v_a$ ①

对 a、b 分别用动量定理 $-\overline{F}_a t=2m(v_a-v_0)$ ②

$\overline{F}_b t=mv_b$ ③

而 $\overline{F}_a=2\overline{F}_b$ ④

联立以上各式可得：$v_a=\dfrac{v_0}{3}$，$v_b=\dfrac{2v_0}{3}$

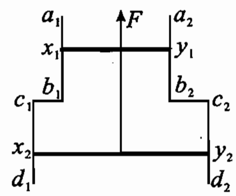


图 32

例 14 （2004·全国理综）图 32 中 $a_1b_1c_1d_1$ 和 $a_2b_2c_2d_2$ 为在同一竖直平面内的金属导轨，处在磁感应强度为 B 的匀强磁场中，磁场方向垂直于导轨所在平面（纸面）向里. 导轨的 a_1b_1 段与 a_2b_2 段是竖直的，距离为 l_1；c_1d_1 段与 c_2d_2 段也是竖直的，距离为 l_2. x_1y_1 与 x_2y_2 为两根用不可伸长的绝缘轻线相连的金属细杆，质量分别为 m_1 和 m_2，它们都垂直于导轨并与导轨保持光滑接触. 两杆与导轨构成的回路的总电阻为 R. F 为作用于金属杆 x_1y_1 上的竖直向上的恒力. 已知两杆运动到图示位置时，已匀速向上运动，求此时作用于两杆的重力的功率的大小和回路电阻上的热功率.

【巧解】 整体法

回路中电阻上的热功率等于运动过程中克服安培力做功的功率，当杆作匀速运动时，根据牛顿第二定律有 $F-m_1g-m_2g=f_2-f_1$.

电路中克服安培力做功功率为：$P=(f_2-f_1)v=[F-(m_1+m_2)g]v$

将 $v=\dfrac{F-(m_1+m_2)g}{B^2(l_2-l_1)^2}R$.

代入可得 $P=[\dfrac{F-(m_1+m_2)g}{B(l_2-l_1)}]^2R$.

更多资料干货 关注微信公众号 学习第一线

重力功率 $P_G=(m_1+m_2)g\dfrac{F-(m_1+m_2)g}{B^2(l_2-l_1)^2}R$

例 15 固定在匀强磁场中的正方形导线框 $abcd$，各边长为 l，其中 ab 是一段电阻为 R 的均匀电阻丝，其余三边均为电阻可以忽略的铜线，磁场的磁感应强度为 B，方向垂直线面向里，现有一与 ab 段的材料、粗细、长度都相同的电阻丝 PQ 架在导线框上，如图 33 所示，以恒定的速度 v 从 ad 滑向 bc. 当 PQ 滑过 $\dfrac{1}{3}$ 的距离时，通过 aP 段电阻丝的电流强度是多大？方向如何？

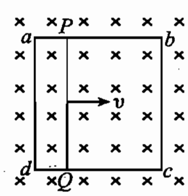


图 33

【巧解】 等效法

切割磁力线产生感应电动势 E，这样 PQ 相当于电动势 $E=Blv$、内阻 $r=R$ 的电源. $PadQ$ 和 $PbcQ$ 为并联在电源上的两支路，运用稳恒电流中的规律就可求出通过 aP 段的电流. PQ 切割磁力线产生感应电动势 $E=Blv$，PQ 电源内阻 $r=R$，外电路由 Pa 和 Pb 并联，所以

$$R_{外}=\frac{R_{pa}\cdot R_{pb}}{R_{pa}+R_{pb}}=\frac{\frac{1}{3}R\times\frac{2}{3}R}{R}=\frac{2}{9}R$$

$$I_{PQ}=\frac{E}{r+R_{外}}=\frac{Blv}{R+\frac{2}{9}R}=\frac{9Blv}{11R}$$

$$U_{PQ}=\varepsilon-I_{PQ}r=Blv(1-\frac{9}{11})=\frac{2Blv}{11}$$

aP 段的电流方向从 P 到 a；$I_{pa}=\dfrac{U_{PQ}}{R_{ap}}=\dfrac{2Blv}{11}\times\dfrac{3}{R}=\dfrac{6Blv}{11R}$

例 16 （全国高考题）如图 34 所示，一对平行光滑轨道放置在水平面上，两轨间距 $l=0.20m$，电阻 $R=1.0\Omega$；有一导体杆静止地放在轨道上，与两轨道垂直，杆及轨道的电阻皆可忽略不计. 整个装置处于磁感应强度 $B=0.50T$ 的匀强磁场中，磁场方向垂直于轨道面向下. 现用一外力 F 沿轨道方向拉杆使之做匀加速运动，测得力 F 与时间 t 的关系如图 35 所示. 求杆的质量 m 和加速度 a.

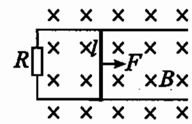


图 34

【巧解】 特殊值法

匀加速直线运动速度公式：$v=at$

产生的感生电动势：$E=Blv$

由欧姆定律得：$I=E/R$

磁场产生的安培力：$f=BIl$

由牛顿第二定律得：$F-f=ma$

整理后得：$F=ma+\dfrac{B^2l^2}{R}at$

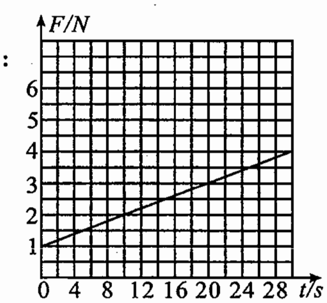


图 35

在图象上取（0，1N）和（20，3N）两个特殊坐标值代入得：$a=10m/s^2$，$m=0.1kg$.

例 17 （2002·上海卷）如图 36 所示，两条互相平行的光滑金属导轨位于水平面内，距离为 $l=0.2m$，在导轨的一端接有阻值为 $R=0.5\Omega$ 的电阻，在 $x\geq0$ 处有一与水平面垂直的均匀磁场，磁感应强度 $B=0.5T$，一质量为 $m=0.1kg$ 的金属直杆垂直放置在导轨上，并以 $v_0=2m/s$ 的初速度进入磁场，在安培力和一垂直于杆的水平外力 F 的共同作用下做匀变速直线运动，加速度大小为 $a=2m/s^2$，方向和初速度方向相反，设导轨和金属杆的电阻都可以忽略，且接触良好，求：

（1）电流为零时金属杆所处的位置；

（2）电流为最大值的一半时施加在金属杆上外力 F 的大小和方向；

（3）保持其他条件不变，而初速度 v_0 取不同值，求开始时 F 的方向与初速度 v_0 取值的关系.

【巧解】 动态分析法

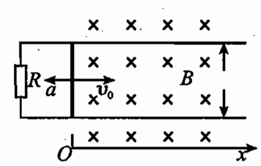


图 36

（1）产生的感应电动势：$E=Blv$，由欧姆定律得：$I=E/R$，所以，$I=0$ 时，$v=0$，有：$x=v_0^2/2a=1m$.

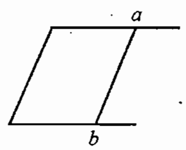
（2）最大电流：$I_m=Blv_0/R$，$I'=I_m/2=Blv_0/2R$，安培力：$f=I'Bl=B^2l^2v_0/2R=0.02N$，向右运动时，$F+f=ma$，$F=ma-f=0.18N$，方向与 x 轴相反，向左运动时 $F-f=ma$，$F=ma+f=0.22N$，方向与 x 轴相反.

（3）开始时 $v=v_0$，$f=I_mBl=B^2l^2v_0/R$，$F+f=ma$，$F=ma-f=ma-B^2l^2v_0/R$，所以，当 $v_0<maR/B^2l^2=10m/s$ 时，$F>0$，方向与 x 轴相反，当 $v_0>maR/B^2l^2=10m/s$ 时，$F<0$，方向与 x 轴相同.

第八章　电磁感应综合测试

一、选择题(4 分×10＝40 分)

1. 如图所示,在水平面内有一固定的 U 型金属框架,框架上放置一重金属棒 ab,整个装置放置在竖直方向的匀强磁场中(　　)



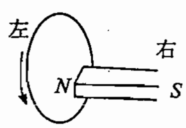
A. 若磁场方向向上且增强,ab 棒一定向左移动

B. 若磁场方向向下且减弱,ab 棒一定向右移动

C. 无论磁场方向如何,只要磁场减弱,ab 棒一定向右移动

D. 当磁场变化时,ab 棒中一定有感应电流产生,但它不一定运动

2. 如图所示,有一固定的超导体圆环,在其右侧放着一个条形磁铁,此时圆环中没有电流;当把磁铁向右移动时,由于电磁感应,在超导体圆环中产生了一定的电流(　　)



A. 这电流方向如图中箭头所示,磁铁移走后,这电流很快消失

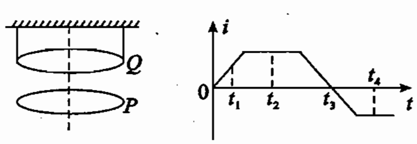
B. 这电流方向如图中箭头所示,磁铁移走后,这电流保持

C. 这电流方向与图中箭头方向相反,磁铁移走后,这电流很快消失

D. 这电流方向与图中箭头方向相反,磁铁移走后,这电流继续维持

更多资料干货 关注微信公众号 学习第一线 赠送5000G学习大礼包

3. 如图(a),圆形线圈 P 静止在水平桌面上,其正上方悬挂一相同的线圈 Q,P 和 Q 共轴,Q 中通有变化电流,电流随时间变化的规律如图(b)所示,P 所受的重力为 G,桌面对 P 的支持力为 F_N,则(　　)

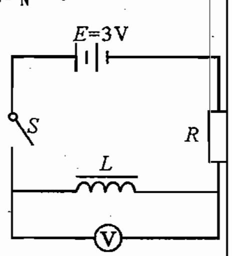


(a)　　(b)

A. t_1 时刻,$F_N>G$　　B. t_2 时刻,$F_N>G$

C. t_3 时刻,$F_N<G$　　D. t_3 时刻,$F_N=G$

4. 如图所示,L 为一自感系数很大的有铁心的线圈,电压表与线圈并联接入电路,在下列哪种情况下,有可能使电压表损坏(电压表量程为 3V)(　　)



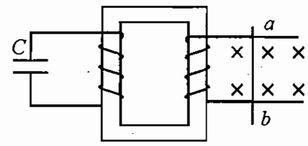
A. 开关 S 闭合的瞬间

B. 开关 S 闭合电路稳定时

C. 开关 S 断开的瞬间

D. 以上情况都有可能损坏电压表

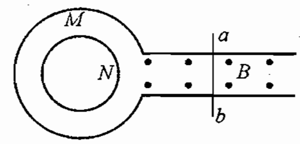
5. 如图所示,导线 ab 沿金属导轨运动使电容器 C 充电,设磁场是匀强磁场,且右边回路电阻不变,若使电容器带电量恒定且上板带正电,则 ab 的运动情况是(　　)



A. 匀速运动　　B. 匀加速向左运动

C. 匀加速向右运动　　D. 变加速向左运动

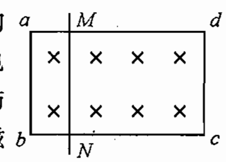
6. 如图所示,在匀强磁场中放有平行铜导轨,它与大线圈 M 相连接,要使小线圈 N 获得顺时针方向的感应电流,则放在导轨上的裸金属棒 ab 的运动情况是(两线圈共面)(　　)



A. 向右匀速运动　　B. 向左加速运动

C. 向右加速运动　　D. 向右减速运动

7. 如图所示,$abcd$ 是固定在桌面上的均匀电阻丝制成的矩形线框.导体 MN 有电阻,可以在线框上无摩擦滑动,两端与线框接触良好,线框处在图示的匀强磁场中,MN 由靠近 ab 边向 dc 边匀速滑动的过程中,以下说法正确的是(　　)



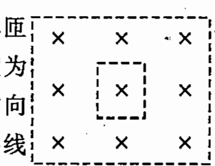
A. MN 中的电流先减小后增大

B. MN 两端的电压先增大后减小

C. MN 上拉力的功率先减小后增大

D. 矩形线框中消耗的功率先减小后增大

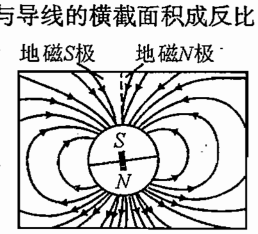
8. 如图所示,将粗细均匀的铜导线制成单匝正方线框,从以虚线框为界磁感应强度为 B 的匀强磁场中匀速拉出磁场,磁场方向与线框平面垂直,则在此过程中通过导线截面的电量(　　)



A. 与线框速度大小成正比　　B. 与线框的质量成正比

C. 与线框的边长成反比　　D. 与导线的横截面积成反比

9. 如图所示为地磁场,磁感线的示意图,在北半球地磁场的竖直分量向下,飞机在我国上空匀速巡航,机翼保持水平,飞机高度不变,由于地磁场的作用金属机翼上有电势差.设飞行员左方机翼末端处的电势为 U_1,右方机翼末端处的电势为 U_2(　　)



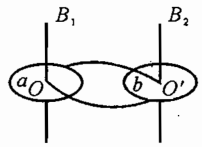
A. 若飞机从西往东飞,U_1 比 U_2 高

B. 若飞机从东往西飞,U_2 比 U_1 高

C. 若飞机从南往北飞,U_1 比 U_2 高

D. 若飞机从北往南飞,U_2 比 U_1 高

10. 如图所示,在两个沿竖直方向的匀强磁场中,分别放入两个大小、质量完全一样的水平导体圆盘,它们彼此用导线相连(边缘通过滑环相接).当圆盘 a 在外力作用下转动时,圆盘 b 将(　　)



A. 总是与 a 沿相同的方向转动

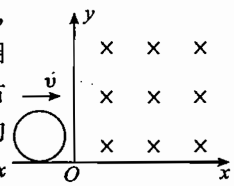
B. 总是与 a 沿相反的方向转动

C. 若 B_1、B_2 同向,则 a、b 转动方向相同

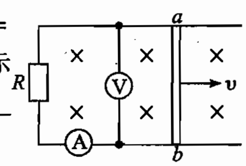
D. 若 B_1、B_2 反向,则 a、b 转动方向相同

二、填空题(5 分×2=10 分)

11. 如图所示,圆形线圈质量 $m=0.1$kg,电阻 $R=0.8\Omega$,半径 $r=0.1$m. 此线圈放在绝缘光滑的水平面上,在 y 轴右侧有垂直于线圈平面的 $B=0.5$T 的匀强磁场,若线圈以初动能 $E_k=5$J 沿 x 轴方向进入磁场,运动一段时间后,当线圈中产生的电能为 $E=3$J 时,线圈恰好有一半进入磁场,则此时磁场力的功率为________W.



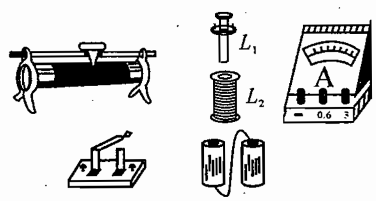
12. 如图所示,匀强磁场垂直穿过导体框平面,其磁感应强度 $B=1$T,导体棒 ab 长 $l=0.5$m,它的电阻 $r=0.5\Omega$,电阻 $R=1.5\Omega$ 框架的电阻不计,当 ab 以 $v=4$m/s 的速度向右运动时,电压表的示数为________V,电流表的示数为________A.



三、实验题(10 分)

13. 如图所示器材可用来研究电磁感应现象及判定感应电流方向.

更多资料干货 关注微信公众号 学习第一线 赠送5000G学习大礼包



(1)在给出的实物图中,用实线作为导线将实验器材连成实验电路.

(2)将线圈 L_1 插入 L_2 中,合上开关,能使感应电流与原电流的绕行方向相同的实验操作是(　　)

A. 插入软铁棒　　B. 拔出线圈 L_1

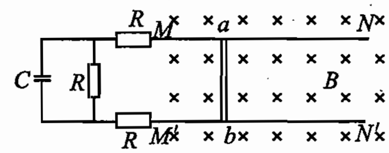
C. 使变阻器阻值变大　　D. 断开开关

四、计算题(共 40 分)

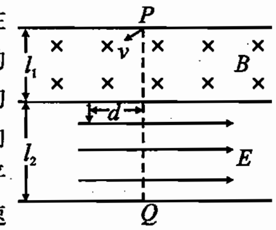
14. (12 分,2007・天津)两根光滑的长直金属导轨 MN、M'N'平行置于同一水平面内,导轨间距为 l,电阻不计,M、M'处接有如图所示的电路,电路中各电阻的阻值均为 R,电容器的电容为 C. 长度也为 l、阻值同为 R 的金属棒 ab 垂直于导轨放置,导轨处于磁感应强度为 B、方向竖直向下的匀强磁场中. ab 在外力作用下向右匀速运动且与导轨保持良好接触,在 ab 运动距离为 s 的过程中,整个回路中产生的焦耳热为 Q. 求:

(1)ab 运动速度 v 的大小;

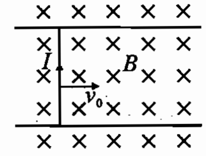
(2)电容器所带的电荷量 q.



15. (18 分,2009・全国Ⅱ卷)如图,在宽度分别为 l_1 和 l_2 的两个毗邻的条形区域中分别有匀强磁场和匀强电场,磁场方向垂直于纸面向里,电场方向与电、磁场分界线平行向右。一带正电荷的粒子以速率 v 从磁场区域上边界的 P 点斜射入磁场,然后以垂直于电、磁场分界线的方向进入电场,最后从电场边界上的 Q 点射出。已知 PQ 垂直于电场方向,粒子轨迹与电、磁场分界线的交点到 PQ 的距离为 d。不计重力,求电场强度与磁感应强度大小之比以及粒子在磁场与电场中运动时间之比。



16. (10 分,2008・全国Ⅱ)如图,一直导体棒质量为 m、长为 l、电阻为 r. 其两端放在位于水平面内间距也为 l 的光滑平行导轨上,并与之密接;棒左侧两导轨之间连接一可控制的负载电阻(图中未画出);导轨置于匀强磁场中,磁场的磁感应强度大小为 B,方向垂直于导轨所在平面. 开始时,给导体棒一个平行于导轨的初速度 v_0. 在棒的运动速度由 v_0 减小至 v_1 的过程中,通过控制负载电阻的阻值使棒中的电流强度 I 保持恒定. 导体棒一直在磁场中运动. 若不计导轨电阻,求此过程中导体棒上感应电动势的平均值和负载电阻上消耗的平均功率.





第九章

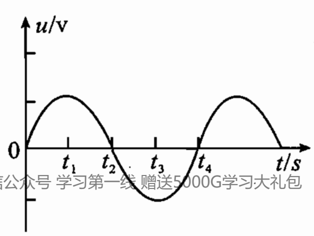
电磁波及其应用

难点巧学

给 LC 回路提供能量后，利用电容器的充放电和线圈产生自感电动势的作用，使 LC 回路中产生振荡电流，同时电容器极板上电荷 q 及与 q 相关联的电场，通电线圈的电流 I 及与 I 相关联的磁场都发生周期性变化的现象，称电磁振荡. 其中，产生大小和方向周期性变化的电流称振荡电流. 产生振荡电流的电路称振荡电路. 最简单的振荡电路是 LC 振荡电路. 电磁振荡的周期公式为：$T=2\pi\sqrt{LC}$.

一、记住"电场能量看电压，磁场能量看电流"，就能快速解决电磁振荡中与能量相关的问题

例1 LC 回路中电容两端的电压 u 随时间 t 变化的关系如图1所示(　　)



更多资料干货 关注微信公众号 学习第一线 赠送5000G学习大礼包

图1

A. 在时刻 t_1，电路中的电流最大

B. 在时刻 t_2，电路的磁场能最大

C. 从时刻 t_2 至 t_3，电路的电场能不断增大

D. 从时刻 t_3 至 t_4，电容的带电量不断增大

【巧解】 t_1 时刻电容器极板间的电压最大，故电路中电场能量最大. t_2 时刻电容器极板间电压为零，所以电场能量为零，必磁场能量最大. t_2 至 t_3 时间内电压在增大，必是电场能量在增大，磁场能量在减少. t_3 至 t_4 时间内极板间的电压在减小，必是电场能量在减少，磁场能量在增大. 所以答案为 B、C.

二、巧用口诀"电同步，磁同步，电、磁不同步"，解题又快捷又准确

LC 振荡电路中电容器的电量、电容器两极间的电压、极板间的电场、电场能量、电路中的电流、线圈中的磁场、磁场能量，及它们的变化看起来复杂，但是"电容器的电量、电容器两极间的电压、极板间的电场、电场能量"四者同步消长. "电路中的电流、线圈中的磁场、线圈中的磁通量、磁场能量"四者同步消长；但"电"与"磁"步调相反.

例2 某时刻 LC 回路中电容器中的电场方向和线圈中的磁场方向如图2所示. 则这时电容器正在________(填充电还是放电)；板间电压正在________；电流大小正在________，磁场能量正在________(填增大还是减小).

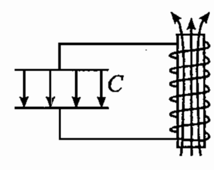


图2

【巧解】 用安培定则可知回路中的电流方向为逆时针方向，而上极板是正极板，所以这时电容器正在充电，即电容器的电量在增加，根据电学量同步消长可知电容器极板间的电压在增大，但电磁消长的步调相反，所以电流在减小. 磁场能减小.

三、掌握"三个要点，突出能量观点"

分析电磁振荡要掌握以下三个要点：

(1)理想的 LC 回路中电场能 $E_{电}$ 和磁场能 $E_{磁}$ 在转化过程中的总和不变.

(2)回路中电流最大时，L 中的磁场能最大(磁通量最大).

(3)极板上电荷量最大时，C 中电场能最大

例3 在 LC 振荡电路中，当电容器上的电量达到最大(充电完毕)的瞬间(　　)

A. 电场能最小　　　　B. 磁场能最小

C. 电场能最大　　　　D. 磁场能最大

【巧解】 电量达到最大，则电容器极板间电压、电场强度、电场能四者同时达到最大，所以 C 正确. 这时必是电流、磁场的磁感应强度、线圈内的磁通量、磁场能量最小的时刻，所以 B 对. 答案为 B、C

四、熟识图，快解题

LC 回路中的电流——时间图象和电容器极板上电量——时间图象总是互为余函数. 而且对电容器充电时，充电电流越充越小，放电时，电流越放越大，放完了电流达到最大. LC 回路电容器刚放电时开始计时则各量的变化如图3所示. 请同学们比较图中各量的变化规律. 熟悉此图，对解题将有极大帮助.

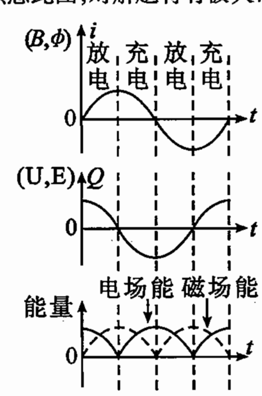


图3

例4　在图4中电容器的电容都是 $C=4\times10^{-6}$F,电感都是 $L=9\times10^{-4}$H,左图中电键 K 先接 a,充电结束后将 K 扳到 b;右图中电键 K 先闭合,稳定后断开.两图中 LC 回路开始电磁振荡 $t=3.14\times10^{-4}$s 时刻,C_1 的上极板正在________电(充电还是放电),带________电(正电还是负电);L_2 中的电流方向向________(左还是右),磁场能正在________(增大还是减小).

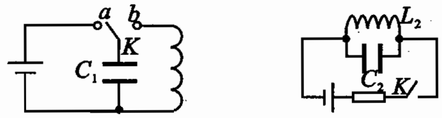


图4

【巧解】　先由周期公式求出 $T=2\pi\sqrt{LC}=1.2\pi\times10^{-4}$s,$t=3.14\times10^{-4}$s 时刻是开始振荡后的 $5T/6$,作出电容器极板上的电量时间图象和电路中电流时间图象如图5所示.再看与左图对应的 $q-t$ 图象(以上极板带正电为正)和与右图对应的 $i-t$ 图象(以 LC 回路中有逆时针方向电流为正),图象都为余弦函数图象.在 T 时刻,从左图对应的 $q-t$ 图象看出,上极板正在充正电;从右图对应的 $i-t$ 图象看出,L_2 中的电流向左,正在增大,所以磁场能正在增大.

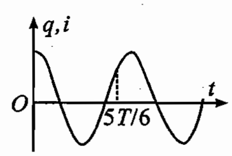


图5

例5　如图6所示,L 是直流电阻可以忽略的电感线圈,LC 振荡电路工作时的周期为 T,原来 K 是接通的,在 $t=0$ 时断开电键 K,则在0到 $T/4$ 这段时间内,下列叙述正确的是(　　)

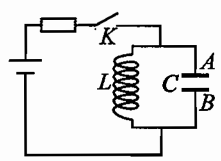


图6

A. 电容器 C 放电,A 板上正电荷逐渐减小,LC 回路中电流逐渐增大,当 $t=T/4$ 时电流达到最大

更多资料干货 关注微信公众号 学习第一线 赠送5000G学习大礼包

B. 电容器 C 放电,A 板上正电荷逐渐减少,LC 回路中电流逐渐减小,$t=0$ 时放电电流最大

C. 电容器 C 被充电,B 板上正电荷逐渐增多,LC 回路中电流逐渐减小,到 $t=T/4$ 时电流为零

D. 电容器 C 被充电,A 板上正电荷逐渐增多,LC 回路中电流逐渐减小,到 $t=T/4$ 时电流为零

【巧解】　L 的电阻为0,K 接通时,电容器两极间的电压 $U_C=0$,根据"电同步、磁同步、电磁不同步"可知:$q=0$,I 最大.又根据原电流方向可知对电容器下极板充以正电.电量越充越多,但电流越充越小.到 $t=T/4$ 时电流降为零.所以答案为C正确.

五、麦克斯韦电磁场理论的两大支柱

变化的磁场产生电场,变化的电场产生磁场.

(1)变化的磁场(电场)能够在周围空间产生电场(磁场);

(2)均匀变化的磁场(电场)能够在周围空间产生稳定的电场(磁场);

(3)振荡的磁场(电场)能够在周围空间产生同频率的振荡电场(磁场).

振荡电场产生同频率的振荡磁场;振荡磁场产生同频率的振荡电场.变化的磁场在周围空间激发的电场为涡旋电场,涡旋电场与静电场一样,对电荷有力的作用,但涡旋电场又与静电场不同,它不是静电荷产生的,它的电场线是闭合的,在涡旋电场中移动电荷时,电场力做的功与路径有关,因此不能引用"电势"、"电势能"等概念.另外要用联系的观点认识规律,变化的磁场产生电场是电磁感应现象的本质.这里强调的是"变化".不同的变化率,产生的效果是不同的.

例6　如图7所示,半径为 r 且水平放置的光滑绝缘的环形管道内,有一个电荷量为 e,质量为 m 的电子.此装置放在匀强磁场中,其磁感应强度随时间变化的关系式为 $B=B_0+kt(k>0)$.根据麦克斯韦电磁场理论,均匀变化的磁场将产生稳定的电场,该感应电场对电子将有沿圆环切线方向的作用力,使其得到加速.设 $t=0$ 时刻电子的初速度大小为 v_0,方向顺时针,从此开始后运动一周后的磁感应强度为 B_1,则此时电子的速度大小为(　　)

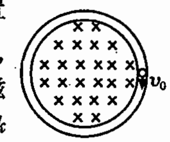


图7

A. $\dfrac{B_1re}{m}$　　B. $\sqrt{v_0^2+\dfrac{2\pi r^2ke}{m}}$

C. $\dfrac{B_0re}{m}$　　D. $\sqrt{v_0^2-\dfrac{2\pi r^2ke}{m}}$

【巧解】　感应电动势为 $E=k\pi r^2$,电场方向逆时针,电场力对电子做正功.在转动一圈过程中对电子用动能定理:$k\pi r^2e=\frac{1}{2}mv^2-\frac{1}{2}mv_0^2$,B正确;由半径公式知,A也正确.答案为AB.

活题巧解

例1　LC 振荡电路中,某时刻磁场方向如图8所示,则下列说法错误的是(　　)

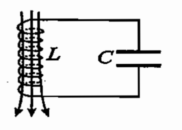


图8

A. 若磁场正在减弱,则电容器上极板带正电

B. 若电容器正在放电,则电容器上极板带负电

C. 若电容器上极板带正电,则线圈中电流正在增大

D. 若电容器正在放电,则自感电动势正在阻碍电流增大

【巧解】　分析法

先根据安培定则判断出电流的方向,若该时刻电容器上极板带正电,则可知电容器处于充电阶段,电流应正在减小,知A叙述正确.

若该时刻电容器上极板带负电,则可知电容器正在放电,电流正在增强,知B叙述正确.由楞次定律知,D叙述亦正确,因而犯错误选项只有C.

【答案】　C

例2　如图9所示是 LC 振荡电路中电容器极板上的电量 q 随时间 t 变化的图线,由图可知(　　)

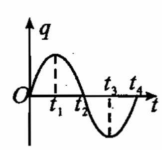


图9

A. 在 t_1 时刻,电路中的磁场能最小

B. 从 t_1 到 t_2 电路中的电流值不断变小

C. 从 t_2 到 t_3 电容器不断充电

D. 在 t_4 时刻,电容器的电场能最小

【巧解】　图象分析法

由 LC 电路的充、放电规律及图 $q-t$ 图象可知:t_1 时刻电量最大,则电流为0,磁场能亦最小;从 t_1-t_2 过程为放电过程,电量减小,电流值增大,从 t_2-t_3 为反向充电过程,电量增大,在 t_2 时刻电量为0,电场能亦为0,所以正确选项为A、C、D.

【答案】　ACD

例3 自感系数为 L 的线圈和可变电容器 C 构成收音机的调谐电路，为使收音机能接收到 $f_1=550\text{kHz}$ 至 $f_2=1650\text{kHz}$ 范围内的所有电台的播音，则可变电容器与 f_1 对应的电容 C_1 与 f_2 对应的电容 C_2 之比为（ ）

A. $1:\sqrt{3}$ B. $\sqrt{3}:1$ C. 1:9 D. 9:1

【巧解】 比例法

振荡频率 $f_1=\dfrac{1}{2\pi\sqrt{LC_1}}$，$f_2=\dfrac{1}{2\pi\sqrt{LC_2}}$，两式相比可得 $\dfrac{f_1}{f_2}=\dfrac{\sqrt{C_2}}{\sqrt{C_1}}$ 则 $\dfrac{C_1}{C_2}=(\dfrac{f_1}{f_2})^2=(\dfrac{1650}{550})^2=9/1$

【答案】 D

例4 按照有关规定，工作场所受到的电磁辐射强度（单位时间内垂直通过单位面积的电磁辐射能量）不得超过 0.5W/m²，若某小型无线通讯装置的电磁辐射功率是 1W，那么在距离该通讯装置______m 以外是符合规定的安全区域（已知球面面积为 $S=4\pi R^2$）.

【巧解】 推理法

设以半径为 R 的圆以外是安全区.

$\because \dfrac{P}{4\pi R^2}=0.50\text{W/m}^2$，$\therefore \dfrac{1}{4\times3.14\times R^2}=0.5$

$\therefore R=0.40\text{m}$

【答案】 0.40

例5 若你用通过同步卫星转发的无线电话与对方通话，则在你讲完话后，至少要等多长时间才能听到对方的回话（已知地球质量 $m=6.0\times10^{24}\text{kg}$，地球半径 $R=6.4\times10^6\text{m}$，万有引力恒量 $G=6.67\times10^{-11}\text{N}\cdot\text{m}^2/\text{kg}^2$）？

更多资料 关注微信公众号 学习第一线 赠送5000G学习大礼包

【巧解】 推理法

同步卫星的周期 $T=3600\times24\text{S}=8.64\times10^4\text{S}$ 设卫星离地高 h，由牛顿第二定律得，$\dfrac{GmM}{(R+h)^2}=m(R+h)(\dfrac{2\pi}{T})^2$，$h=\sqrt[3]{\dfrac{GMT^2}{4\pi^2}}-R$，代入数字得 $h=3.6\times10^7\text{m}$.

题目要求的最短时间指发话人和听话人均大约在同步卫星的正下方，此时无线电波传播的最短距离 $S=2h$，所以最短时间，$t=2\times2h/c=0.48\text{s}$.

【答案】 0.48s

例6 如图 10 所示，氢原子中的电子绕核逆时针快速旋转，匀强磁场垂直于轨道平面向外，电子的运动轨道半径 r 不变，若使磁场均匀增加，则电子的动能（ ）

A. 不变

B. 增大

C. 减小

D. 无法判断

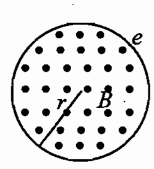


图 10

【巧解】 推理法

电子在库仑力 F 和洛伦兹力 $F_洛$ 的共同作用下做匀速圆周运动，由左手定则判断 F' 和 F 方向始终相同，两者之和充当向心力，当磁场均匀增加时，根据麦克斯韦理论，将激起一稳定电场，由楞次定律及安培定则可判断出上述电场的方向为顺时针，这时旋转的电子除受原来的 F 和 $F_洛$ 外，又受到一个逆时针方向的电场力作用，该力沿运动轨迹的切线方向，且与电子运动方向相同，对电子做正功，所以电子的动能增大.

【答案】 B

例7 如图 11 所示，电感线圈的电阻不计，把原来闭合的开关 S 断开，并开始计时，则（ ）

A. $t=0$ 时，电容器 C 电量最多

B. $t=0$ 时，电容器电压为零

C. 从 $t=0$ 到 $t=\pi\sqrt{LC}/2$，磁场能转化为电场能

D. 在 $t=\pi\sqrt{LC}$ 时，流经线圈 L 的电流最大

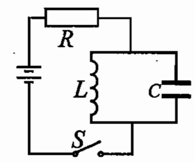


图 11

【巧解】 推理法

自感线圈的电流稳定（即电路闭合稳定时，线圈相当于导线）. 题中线圈与电容器并联，电键 K 闭合达稳定后，电容器被短路而两端电压为 0，从而电量为 0. K 断开，线圈与 C 组成闭合回路而发生振荡，在 $t=0$ 时，电容器开始充电，故 B 正确，A 错. 在 $t=0$ 到 $t=\dfrac{\pi\sqrt{LC}}{2}$ 即 $0\sim\dfrac{T}{4}$ 时间内，电容器因充电，其磁场能转化为电场能，C 正确. 在 $t=\pi\sqrt{LC}=\dfrac{T}{2}$ 时，电容刚好反向充电开始，则电流最大，D 也对.

【答案】 B、C、D

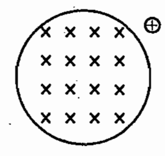
例8 如图 12 所示，圆形区域内有垂直于纸面的匀强磁场，场外有一带正电的粒子（重力不计）静止在某点外，当磁场均匀增强时，该粒子的运动情况是（ ）

A. 仍静止在某点处

B. 将做匀速运动

C. 将做加速运动

D. 以上说法均不对


图 12

【巧解】 推理法

根据麦克斯韦电磁理论，当空间的磁场均匀增强时，在它的周围空间会产生稳恒的电场，所以带正电的粒子在电场力的作用下被加速.

【答案】 C

例9 图 13 是 LC 振荡电路，图 14 中正弦曲线表示 LC 振荡电路中电流随时间变化的图像，若以回路中顺时针方向为电流正方向，以电容器上方极板带正电时极板上的电压为正，请在图示坐标中画出电容器极板上电压变化曲线的示意图.

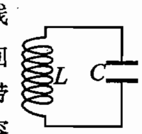


图 13

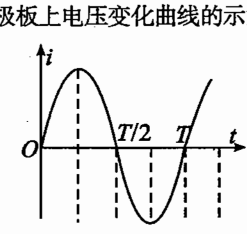


图 14

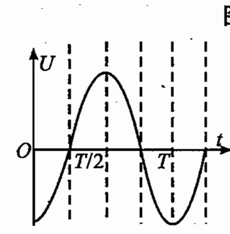


图 15

【巧解】 图象法

$t=0$ 时，顺时针方向的电流从 0 开始增大，则电容器下板的正电荷从最大开始放电，此时上板带负电，电量最大，电压也为负的最大值.

【答案】 画出 $u-t$ 图线如图 15 所示.

例 10　如图 16 所示的 LC 振荡回路中振荡电流的周期为 2×10^{-2} s. 自振荡电流沿反时针方向达最大值时开始计时，当 $t_1=3.4\times10^{-2}$ s 时，电容器正处于________（填充电、放电、充电完毕或放电完毕）. 这时电容器上极板________（填带正电、带负电或不带电）.

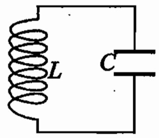


图 16

【巧解】　推理法

$t=0$ 时电流沿反时针方向达最大，表明电容器上板的正电荷刚好放电结束，电量 $q=0$. 而 $t_1=3.4\times10^{-2}\text{s}=1.7T$　$1.5T<t_1=1.7T<1.75T$. 从 $q-t$ 图上可知，当以上板带正电为正值时，画出 $q-t$ 图线如图 17 所示.

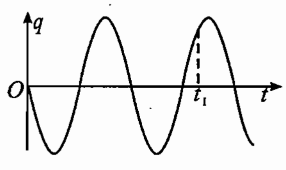


图 17

【答案】　如图 17

例 11　如图 18 所示在直线 PQ 周围出现了一组闭合的电场线，则以下说法中正确的是(　　)

A. 由 $Q\to P$ 的电流迅速增强

B. 由 $Q\to P$ 的电流迅速减弱

C. 由 $P\to Q$ 的磁场迅速增强

D. 由 $P\to Q$ 的磁场迅速减弱

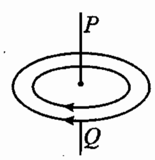


图 18

【巧解】　推理法

变化的电流产生变化的磁场，变化的磁场产生电场，其方向可利用电磁感应规律判定.

更多资料干货 关注微信公众号 学习第一线 赠送5000G学习大礼包

【答案】　D

例 12　如图 19 所示，带正电的小球在垂直于匀强磁场的水平光滑绝缘槽中做匀速圆周运动，当磁场的磁感应强度增大时，小球的(　　)

A. 动能增大

B. 动能不变

C. 周期增大

D. 周期减小

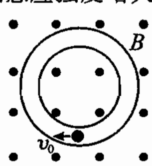


图 19

【巧解】　推理法

根据麦克斯韦电磁场理论，变化的磁场产生电场. 当垂直于纸面向里的磁场增强时，产生的感应电场是涡旋的，并沿顺时针方向，所以使带正电的小球受到电场力沿切向并加速.

【答案】　A、D

例 13　某雷达工作时，发射电磁波的波长为 $\lambda=20$ cm，每秒脉冲数 $n=5000$，每个脉冲持续时间 $t=0.02\mu$s，问电磁波的频率是多少？最大的侦察距离是多少？

【巧解】　推理法

由于电磁波的波长、频率与波速之间满足关系 $v=\lambda f$，真空中电磁波的传播速度等于光速，一般在空气中传播，电磁波的传播速度就认为等于光速 $v=3.00\times10^8$ m/s，因此 $f=v/\lambda=1.5\times10^9$ Hz，即电磁波频率为 1.5×10^9 Hz. 雷达工作时发射电磁脉冲，每个脉冲持续 $t=0.2\mu$s，在两个脉冲时间间隔内，雷达必须接收到反射回来的电磁脉冲，否则会与后面的电磁脉冲重叠而影响测量，设最大侦察距离为 s，则 $2s=v\Delta t$，而 $\Delta t=1/5000\text{s}=200\mu\text{s}$（脉冲持续时间可以略去不计），所以 $s=v\Delta t/2=3\times10^4$ m.

【答案】　1.5×10^9 Hz　　3×10^4 m

例 14　如图 20 所示的电路中，电容器的电容 $C=1.0$ pF，线圈的自感系数 $L=0.1$ mH. 先将开关 S 扳至 a，这时电容器内有一带电油滴恰能保持静止. 然后将开关 S 扳至 b，经过 $t=3.14\times10^{-5}$ s，油滴的加速度 a 是多少？当油滴的加速度 a 为何值时，LC 回路中的振荡电流有最大值？（$g=10\text{m/s}^2$，油滴始终不与极板接触）

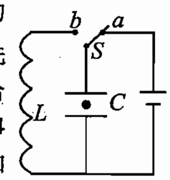


图 20

【巧解】　推理法

当开关 S 扳至 a 时，油滴恰能保持静止，油滴受力平衡，显然油滴带负电，由平衡条件有：$mg=\dfrac{U}{d}q$

当开关 S 扳至 b 后，LC 回路中有振荡电流，振荡周期为 $T=2\pi\sqrt{LC}=6.28\times10^{-5}$ s

当 $t=3.14\times10^{-5}$ s 时，电容器恰好反向充电结束，两极板间场强与 $t=0$ 时等大反向，由牛顿第二定律有：$\dfrac{U}{d}q+mg=ma$

联立以上两式解得 $a=20\text{m/s}^2$.

当振荡电流最大时，电容器刚好放电完毕，两极板间无电场，油滴加速度 $a=10\text{m/s}^2$.

即当油滴的加速度为 10m/s^2 时，LC 回路中振荡电流有最大值.

【答案】　如上解析.

第九章 电磁波及其应用综合测试

一、选择题(4 分 × 12 = 48 分)

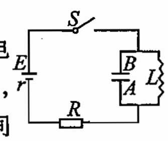
1. 关于物理学史的电磁部分,以下说法中正确的是(   )
   A. 安培发现了电流能产生磁场
   B. 法拉第发现了电磁感应现象
   C. 赫兹预言了电磁波的存在
   D. 麦克斯韦用实验证实了赫兹关于电磁波的预言

2. 关于声波和电磁波,下面说法正确的是(   )
   A. 它们都能在真空中传播
   B. 它们在空气中传播速度相差很大很大
   C. 它们虽然是本质不同的波,但它们都有波的特性,如衍射和干涉
   D. 声波的声源是机械振动,电磁波的波源是电磁振荡

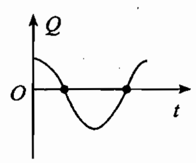
3. 电子钟是利用 LC 振荡电路来工作计时的,现发现电子钟每天要慢 30s,造成这一现象的原因可能是(   )
   A. 电池用久了
   B. 振荡电路中电容器的电容大了
   C. 振荡电路中线圈的电感大了
   D. 电子钟的放置位置不对

4. 如图甲所示,L 是直流电阻可以略去不计的电感线圈,S 闭合后电路有稳定电流,若 $t=0$ 时,切断电源 S,则电容器的 B 极板电量 Q 随时间的变化图象是图乙中的哪一个?(   )

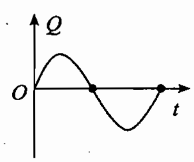
更多资料干货 关注微信公众号 学习第一线 赠送5000G学习大礼包



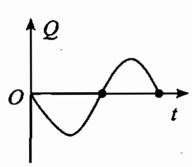
甲



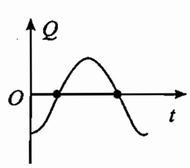
A



B

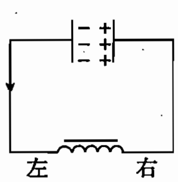


C

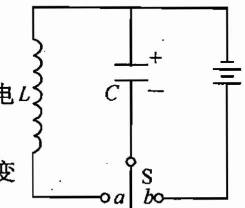


D

5. 如图所示,已知 LC 振荡电路中的电容器电容为 C,线圈的电感为 L,则正在振荡的电路中(   )
   A. 在图示状态下,电流正在增大
   B. 在图示状态下,线圈左端电势低于右端电势
   C. 电容器放电时间取决于充电电压的大小
   D. 电场能和磁场能的相互转化的周期为 $\pi\sqrt{LC}$

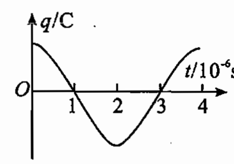


6. 如图所示,LC 回路的振荡周期为 T,将电容器充电后,将 S 扳到 a,经 $T/2$ 的时间,则(   )
   A. 电容器内电场最强,场强方向向下
   B. 线圈 L 内电流最强,电流方向向下
   C. L 内的磁场能全部转化为 C 内的电场能
   D. 若开始充电较多,则放电时间将变长

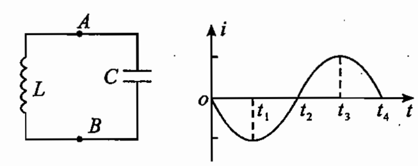


7. 无线电广播中波段的波长范围为 187 ~ 560m,为了避免邻台干扰,在一定范围内两个相邻电台的频率至少应相差 10kHz,则在此波段中,能够容纳电台的个数约为(   )
   A. 5000 个 B. 100 个 C. 187 个 D. 107 个

8. 如图所示,是 LC 回路中电容器带电量随时间变化的图象,在 1×10^{-6}s 到 2×10^{-6}s 内,关于电容器的充(或放)电过程及由此产生的电磁波的波长,正确的结论是(   )
   A. 充电过程,波长为 1200m
   B. 充电过程,波长为 1500m
   C. 放电过程,波长为 1200m
   D. 放电过程,波长为 1500m

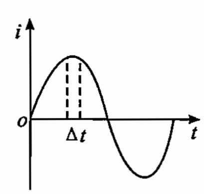


9. 如图所示的 LC 振荡电路在 $t=0$ 时,电容器下板带正电,振荡电流随时间的变化规律如图所示,则在 $t_3 \sim t_4$ 时间内,A、B 两点电势 φ_A、φ_B 的高低和穿过线圈的磁通量变化率 $\frac{\Delta\phi}{\Delta t}$ 是(   )



   A. $\varphi_A>\varphi_B$,$\frac{\Delta\phi}{\Delta t}$ 增大 B. $\varphi_A>\varphi_B$,$\frac{\Delta\phi}{\Delta t}$ 减小
   C. $\varphi_A<\varphi_B$,$\frac{\Delta\phi}{\Delta t}$ 增大 D. $\varphi_A<\varphi_B$,$\frac{\Delta\phi}{\Delta t}$ 减小

10. LC 振荡电路中,振荡电流随时间变化的关系图线如图所示,Δt 时间内把线圈 L 中的铁芯抽走,它引起的振荡电流的变化是(   )
    A. 振幅加大,周期变大
    B. 振幅加大,周期变小
    C. 振幅减小,周期变小
    D. 振幅减小,周期变大

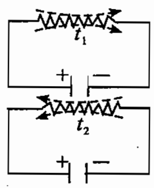


11. 在 LC 振荡电路中,L 是电感线圈的自感系数,C 是 a 和 b 两板组成的电容器的电容,在 t_1 时刻,电路中的电流不为零,而电容器的 a 板带电量为 $+q$;经过一段时间后在 t_2 时刻,a 板第一次带 $-q$ 的电量,则可能有(   )
    A. $t_2-t_1=2\pi\sqrt{LC}$
    B. $t_2-t_1=\pi\sqrt{LC}$

C. 在 t_1 和 t_2 时刻电路中的电流方向可能相同

D. 在 t_1 和 t_2 时刻电路中的电流方向可能相反

12. 如图所示，是 LC 振荡电路中 t_1 和 t_2 时刻自感线圈中的磁感线和电容器极板带电情况，若 $t_2-t_1=\frac{\pi}{2}\sqrt{LC}$，则(　　)



A. 在 t_1 时刻电容器正在充电

B. 在 t_2 时刻电容器正在充电

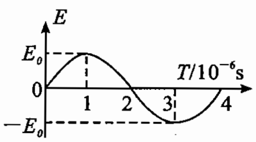
C. 在 t_1 时刻电路中的电流正在增大

D. 在 t_2 时刻电路中的电流正在增大

二、填空与实验题(5 分×4 =20 分)

13. 某 LC 振荡电路的电容器的电容是可变的，线圈不可变，当电容器电容为 C_1 时，它激起的电磁波波长为 λ_1；当电容器电容为 C_2 时，它激起的电磁波波长为 λ_2；当电容器电容为 C_1+C_2 时，它激起的电磁波长 $\lambda=$________.

14. LC 振荡电路电容器中电场强度 E 随时间 t 变化关系如图所示，根据图线可知，当 $t=$________s 时，电路中的振荡电流最大，振荡电路发射的电磁波属于________波段.



15. (2005·广东)关于电磁场和电磁波，下列说法正确的是______

A. 电磁波是横波

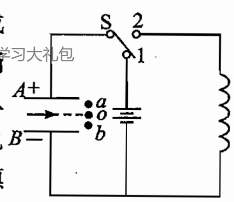
B. 电磁波的传播需要介质

C. 电磁波能产生干涉和衍射现象

D. 电磁波中电场和磁场的方向处处相互垂直

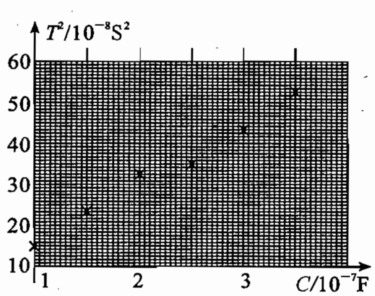
16. 如图所示，平行板 A、B 与一线圈组成一理想的 LC 振荡电路，E 为电源. 当开关 S 从 1 扳到 2 时有一电子恰好从 A、B 两板的中心线飞入 AB 间，则电子可能从图中的________点飞出(填 a,o 或 b). 飞出时的动能可能________(填“变大”、“变小”或“不变”).

更多资料干货 关注微信公众号 学习第一线 赠送5000G学习大礼包



三、实验题(7 分)

17. 在 LC 振荡电路中，如已知电容 C，为了测得电路的固有振荡周期 T，即可求得电感 L. 提高测量精度，需多次改变 C 值并测得相应的 T 值. 现将测得的六组数据标示在以 C 为横坐标、T^2 为纵坐标的坐标纸上，即图中用“×”表示的点.



(1) T、L、C 的关系为________.

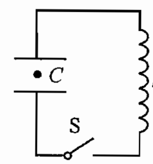
(2)根据图中给出的数据点作出 T^2 与 C 的关系图线.

(3)求得的 L 值是________.

四、计算题(共 35 分)

18. (8 分)一只电容为 C 的电容器充电到两板间电压为 U，然后断开电源，让其通过一个自感系数为 L 的线圈放电. 在第一次放电完毕的过程中，流过电路的平均电流是多大?

19. (8 分)如图所示 LC 回路中，C 是平行板电容器，两板水平放置，开关断开时，电容器内带电灰尘恰好静止，当开关闭合后，灰尘在电容器内运动，若 $C=4\mu F$，$L=0.1mH$.



(1)从 S 闭合时开始计时，经过 $2\pi\times10^{-5}$s 时，电容器内灰尘的加速度大小是多少?

(2)当灰尘的加速度多大时，线圈中电流最大?

20. (9 分)在 LC 振荡电路中，线圈自感系数 L 的变化的范围是 $4\sim90mH$，电容 C 的变化范围是 $3.6\sim100pF$，该振荡电路的频率变化范围是多少? 它发射的电磁波波长的变化范围是多少?

21. (10 分)利用荧光灯的频闪效应可以测定转速. 现有大功率振荡器的 LC 回路，其电容为 $1\mu F$，电感为 $400/\pi^2$(H)，将它的振荡电流接到荧光灯上使之正常发光. 在荧光灯照射下让一互成 120°角的三叶扇转速由零缓慢增加，当第一次发现三叶片的像静止不动时，此时风扇的转速是多少?

第十章

分子动理论　内能

难点巧学

一、巧建模型——气体压强的理解及大气压的应用

1. 气体的压强:由于气体分子的热运动对容器壁的碰撞而产生,可类比于雨滴对伞的作用效果,雨滴动能越大、越密,对伞面产生的压强越大.

2. 大气压是由于大气受到重力作用而产生的. 地表的大气压与地球表面积的乘积,近似等于地球大气层所受的重力,通过该方法可估算地球大气的质量.

二、活用平衡条件及牛顿第二定律——气体压强的计算

1. 利用液体静力学知识

(1)压强平衡法

常用到以下知识:在气体流通的区域,各处压强相等,如容器与外界相通,则容器内外压强相等;若液面与外界大气相接触,则液面下 h 处的压强为 $\rho=\rho_0+\rho gh$;连通器内最底层同种静止的液体在同一水平面上的压强相等.

(2)压力平衡法:取一液体薄片或活塞,对其进行受力分析,由平衡条件可求气体压强.

更多资料下载 关注微信公众号 学习第一线 赠送5000G学习大礼包

2. 利用动力学方法:如封闭气体的液柱或活塞处于非平衡状态,则以液柱或活塞为研究对象,分析其受力,由牛顿第二定律列方程求解.

三、微观与宏观——正确理解气体的压强、体积与温度及其关系

1. 气体的体积(宏观)指气体分子(微观)能达到的空间,并非所有气体分子的体积之和. 因气体能充满整个容器,故气体的体积可认为等于容器的容积. 气体的压强微观上与分子运动的剧烈程度及单位体积内的分子数有关,宏观上取决于气体的温度与体积;由于气体温度微观上是描述分子运动剧烈程度的物理量,而分子作永不停息的无规则运动,故气体的温度不可能为绝对零度,只能无限接近,但高温无极限.

2. 气体的压强、体积和温度是描述气体状态的三个参量(宏观),其中一个发生变化,则至少有另外一个随之发生变化,且对于一定理想气体满足$\frac{pV}{T}$=恒量.

活题巧解

例1 已知地球半径 $R=6.4\times10^6$m,地球表面的重力加速度 $g=9.8\text{m/s}^2$,大气压 $p_0=1.0\times10^5$Pa,空气的平均摩尔质量为 $M=2.9\times10^{-2}$kg/mol,阿伏伽德罗常数 $N_A=6\times10^{23}$个/mol. 在下列问题的探索中还可查用其他数据.

(1)估算地球周围大气层的空气分子数;

(2)假如把地球大气全部变为液体而分布在地球表面,地球的半径将增加多少?

【巧解】 模型法

(1)大气压强是由于大气重力产生的,故地表的大气压强与地球表面积的乘积即大气的重力,所以:$m=\frac{4\pi R^2p_0}{g}=5.2\times10^{18}$ kg,空气分子数目:$n=\frac{m}{M}N_A=1\times10^{44}$个

(2)如把地球大气层全部变为液态水,因质量不变,则液态水产生的压强等效为大气压,故地球的半径将增加约 10m 高(因一个标准大气压约相当于 10m 高水柱产生的压强),如大气液化成与水银同密度的液体,则地球的半径将增加 0.76m.

【答案】 (1)$n=1\times10^{44}$个;(2)如液化成水,则地球半径约增加 10m 高,如液化成与水银同密度的液化,则地球的半径将增加 0.76m.

例2 (2010 上海卷)如图 1,上端开口的圆柱形气缸竖直放置,截面积为 $5\times10^{-3}\text{m}^2$,一定质量的气体被质量为 2.0kg 的光滑活塞封闭在气缸内,其压强为________Pa(大气压强取 1.01×10^5Pa,g 取 10m/s^2.)若从初温 27℃开始加热气体,使活塞离气缸底部的高度由 0.50m 缓慢地变 0.51m,则此时气体的温度为________℃.

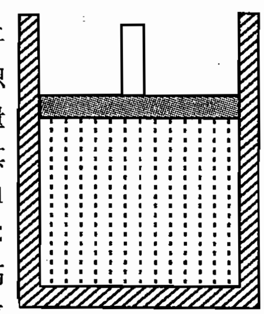


图 1

【巧解】 整体法　模型法

设气缸内气体压强为 p,大气压强为 p_0,活塞产生的附加压强为 p_1.

活塞处于平衡状态,有

$p=p_1+p_0$

依据压强定义式,有

$p_1=\frac{mg}{S}=\frac{2\times10}{5\times10^{-3}}\text{Pa}=0.04\times10^5\text{Pa}$

所以,$p=0.04\times10^5\text{Pa}+1.01\times10^5\text{Pa}$

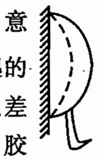
$=1.05\times10^5$Pa.

将缓慢的加热过程视为等压过程,依据盖·吕萨克定律,有

$\frac{0.50\times5\times10^{-3}}{273+27}=\frac{0.51\times5\times10^{-3}}{273+t}$

所以，$t=33℃$.

例3　如图2所示是一胶吸盘挂钩的示意图，吸盘之所以能够悬挂物体是凭借其本身拱起的弹力，使内部的气压小于大气压，借二者的压强差产生压到墙上的力，再借摩擦力使它不向下滑，胶吸盘刚压到墙上的时候（如图中虚线所示，设此时体积为 V_0），把一部分空气驱出，这时盘内的气压仍等于外界大气压（设为 p_0），等到手压力除去后，胶吸盘借着弹力而拱起来，盘内的体积增大（设此时体积为 V_1），已知一定质量的气体在一定温度下，它的压强与体积成反比，设盘的圆面积为 S，胶吸盘与墙的动摩擦因数为 μ，求这时胶吸盘所能挂起的最大重物 $G=$?


图2

【巧解】　等效法

由于球面上各部分对称位置所受大气压力的竖直分量彼此平衡，水平分量方向一致。故吸盘受到大气压力等效为大气压对面积为S的平板的压力. 因为 $p_1V_1=p_0V_0$，所以 $\Delta p=p_0-p_1=\frac{V_1-V_0}{V_1}p_0$，大气对墙的压力：$F=\Delta pS$，由平衡条件有：$G=\mu F$，所以：$G=\mu\frac{V_1-V_2}{V_1}p_0S$.

故这时吸盘所能挂起的最大重物 $G=\mu\frac{V_1-V_2}{V_1}p_0S$.

例4　如图3所示，横截面积为 S 的气缸静止于倾角为 α 的斜面上，质量为 M 的活塞将一定质量的气体密封在气缸内，劲度系数为 k 的弹簧连着气缸底与活塞，并被压短了 $\triangle L$，则缸内气体压强为（设大气压强为 p_0）（　　）

A. $p_0+\frac{Mg+k\triangle L}{S}$

B. $p_0+\frac{Mg-k\triangle L}{S}$

C. $p_0+\frac{Mg\sin\alpha-k\triangle L}{S}$

D. $p_0+\frac{Mg\cos\alpha-k\triangle L}{S}$

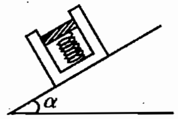


图3

【巧解】　平衡法

对活塞进行受力分析，如图4所示，活塞受大气压力 p_0S、重力 Mg、缸内气体压力 ps、弹簧斜向上的弹力 $k\triangle L$，在垂直活塞方向上，由平衡条件有：$Mg\cos\alpha+p_0S=ps+k\triangle L$，所以：$p_0+\frac{Mg\cos\alpha-k\triangle L}{S}$

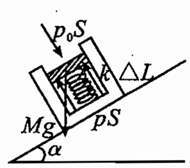
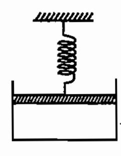


图4

【答案】　D

例5　如图5所示，活塞的质量为 m，气缸的质量为 M，通过弹簧吊在天花板上，气缸内封有一定质量的气体，气缸和活塞无摩擦，活塞面积为 S，则封闭气体的压强多大？

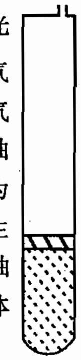

图5

【巧解】　整体法与隔离法　平衡法

以活塞与气缸为整体，设弹簧的拉力为 F_T，由平衡条件有：$F_T=(M+m)g$，取活塞为研究对象，由平衡条件有：$F_T+pS=mg+p_0S$，所以封闭气体的压强：$p=p_0-\frac{Mg}{S}$

【答案】　$p=p_0-\frac{Mg}{S}$

例6　（2008海南卷）如图6，一根粗细均匀、内壁光滑、竖直放置的玻璃管下端密封，上端封闭但留有一抽气孔. 管内下部被活塞封住一定量的气体（可视为理想气体），气体温度为 T_1. 开始时，将活塞上方的气体缓慢抽出，当活塞上方的压强达到 p_0 时，活塞下方气体的体积为 V_1，活塞上方玻璃管的容积为 $2.6V_1$. 活塞因重力而产生的压强为 $0.5p_0$. 继续将活塞上方抽成真空并密封. 整个抽气过程中管内气体温度始终保持不变. 然后将密封的气体缓慢加热. 求


图6

（Ⅰ）活塞刚碰到玻璃管顶部时气体的温度；

（Ⅱ）当气体温度达到 $1.8T_1$ 时气体的压强.

【巧解】　模型法

（Ⅰ）整个抽气过程为等温过程，该过程的初态为 $(p_0+0.5p_0,V_1)$，末态为 $(0.5p_0,V)$，其中 V 是活塞上方抽成真空时，密封气体的体积.

依据玻意耳定律，有

$(p_0+0.5p_0)\cdot V_1=0.5p_0\cdot V$

整理，得 $V=3V_1$. 由题意可知此时活塞上方真空体积为 $0.6V_1$. 此后将密封的气体缓慢加热，活塞将缓慢上升，直到碰到玻璃管顶，显然这个过程是等压过程，该过程的初态为 $(3V_1,T_1)$，末态为 $(3.6V_1,T_1')$，其中 T_1' 是活塞刚碰到玻璃管顶部时气体的温度.

依据盖·吕萨克定律，有

$\frac{3V_1}{T_1}=\frac{3.6V_1}{T_1'}$

整理，得 $T_1'=1.2T_1$.

（Ⅱ）以后的过程为等容过程，该过程的初态为 $(0.5p_0,1.2T_1)$，末态为 $(p_2,1.8T_1)$ 其中 p_2 是气体温度达到 $1.8T_1$ 时气体的压强.

依据查理定律，有

$\frac{0.5p_0}{1.2T_1}=\frac{p_2}{1.8T_1}$

整理，得 $p_2=0.75p_0$.

例7　如图7所示，气缸质量为8kg，活塞质量为2kg，活塞横截面积为100cm²，大气压强 $p_0=10^5$Pa. 有一轻绳绕过定滑轮后，与活塞相连，现用 $F=160$N 的外力拉气缸离地，不计摩擦. 求：

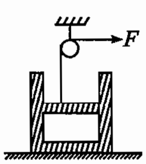


图7

(1)气缸刚离地时封闭气体的压强；

(2)气缸离地后，最后气缸内封闭气体的压强（g 取 10m/s^{-2}）

【巧解】　整体法　平衡法

设气缸质量为 M，活塞质量为 m，气缸离地后，整体向上做匀加速运动的加速度为 a，活塞横截面积为 S.

(1)气缸未离地之前，气缸受重力 Mg、大气压力 p_0S，封闭气体压力 p_1S，地面支持力 F_N. 由平衡条件可得：$Mg+p_1S=p_0S+F_N$，当 $F_N=0$ 时，气缸刚离开地面，此时有：$Mg+p_1S=p_0S$，故：$p_1=p_0-\frac{Mg}{S}=9.2\times10^4\text{Pa}$.

(2)气缸与活塞最后整体向上做匀加速运动，先以整体为研究对象，由牛顿第二定律有：$F-(M+m)g=(M+m)a$，所以 $a=6\text{m/s}^2$，再以活塞为研究对象有：$F+p_2S-mg-p_0S=ma$，所以：$p_2=p_0+\frac{m(g+a)-F}{S}=8.7\times10^4Pa$

【答案】 (1)$p_1=9.2\times10^4\text{Pa}$ (2)$p_2=8.7\times10^4\text{Pa}$

例8 全自动洗衣机的水位开关是一个压力开关，其工作原理是利用开关内的空气随着水位上升所增加的压力产生开关动作，关闭水阀. 在排水时，随着水位的下降，空气室内的压力随之下降，开关回复到初始位置. 如图8所示，当水被注入洗衣桶后，其中的空气很快被封闭在左侧的小管中，随着水位的上升，被封闭的空气压强将增大，通常桶内外液面差为 h(15～35cm)，求：(1)被封闭的空气的压强范围；(2)若橡胶膜片的半径为 $r=2.5\text{cm}$，则压缩空气对橡胶膜片的压力 F 的范围为多少？($p_0=1.01\times10^5\text{Pa}$)

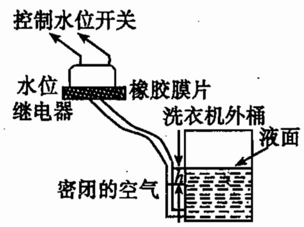


图 8

更多资料干货 关注微信公众号 学习第一线 赠送5000G学习大礼包

【巧解】 模型法 平衡法

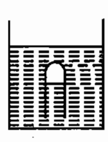
(1)设被封闭气体的压强为 p，所以有：$p=p_0+\rho gh$，因桶内外的液面高度差 h 为 15～35cm，故封闭气体压强最小为：$p_1=p_0+\rho gh_1=1.03\times10^5\text{Pa}$，封闭气体压强最大为：$p_2=p_0+\rho gh_2=1.05\times10^5\text{Pa}$. 所以封闭气体的压强范围为：$1.03\times10^5\text{Pa}\sim1.05\times10^5\text{Pa}$

(2)因为 $F=pS$，所以压缩空气对橡胶膜片最小压力为：$F_1=p_1S=p_1\pi r^2=202.1\text{N}$，最大压力为：$F_2=p_2S=p_2\pi r^2=206.1\text{N}$，故橡胶膜片的压力范围为 202.1N～206.1N

【答案】 (1)封闭气体的压强范围为：$1.03\times10^5\text{Pa}\sim1.05\times10^5\text{Pa}$ (2)橡胶膜片的压力的范围为 202.1N～206.1N

例9 如图9所示，一个试管开口向下插入盛水的烧杯中，在某一深度处静止，管内封有一定质量的空气. 当温度略有降低时，试管将(　　)

A. 加速上浮
B. 加速下沉
C. 仍保持静止
D. 在原位置上下振动


图 9

【巧解】 假设法 等效法

当试管处于静止时，试管所受的浮力与试管的重力平衡，即体积为气泡体积的水的质量与试管的质量相同. 当温度略有降低时，设试管仍处于原位置且体积不变，则由于温度降低，气体压强减小，杯中的水将进入试管，试管内气体的体积减小，试管所受水的浮力减小，所以试管将下沉，随着试管的下沉，管内气体的压强继续增大，体积继续减小，所受水的浮力减小，故试管将加速下沉.

【答案】 B

例10 在冬季，剩有半瓶热水的暖水瓶经过一个夜晚后，第二天拔瓶口的软木塞时觉得很紧，不易拔出来，其中主要原因是(　　)

A. 软木塞受潮膨胀
B. 瓶口因温度降低而收缩变小
C. 白天气温升高，大气压强变大
D. 瓶内气体因温度降低而压强减小

【巧解】 模型法 推理法

热水瓶内空气的变化可视为等容变化，由气体压强、体积与温度的关系可知，当体积不变时，温度降低，气体压强减小.

【答案】 D

例11 (2005·天津卷)下列说法中正确的是(　　)

A. 一定质量的气体被压缩时，气体压强不一定增大
B. 一定质量的气体温度不变压强增大时，其体积也增大
C. 气体压强是由气体分子间的斥力产生的
D. 在失重情况下，密闭容器内的气体对器壁没有压强

【巧解】 模型法 推理法

对质量一定的气体，由 $\frac{\rho V}{T}=$ 恒量可知，A 正确，B 错；因气体的压强是由分子的无规则运动对容器壁的碰撞作用而产生，所以 C、D 错.

【答案】 A

例12 (2005·全国卷)对于一定量气体，可能发生的过程是(　　)

A. 等压压缩，温度降低　　B. 等温吸热，体积不变
C. 放出热量，内能增加　　D. 绝热压缩，内能不变

【巧解】 推理法 结论法

对于定量气体，因 $\frac{\rho V}{T}=$ 恒量，故 ρ 不变，体积 V 减小，温度 T 降低，A 正确；因等温变化过程中，气体的内能不变，当从外界吸热时，气体必对外界做功，气体体积增大，B 错；当气体放出热量时，外界对气体做功，如外界对气体所做的功大于气体放出热量，则气体内能可能增加，C 正确；绝热压缩时，外界对气体做功，气体与外界无热交换，所以气体内能增大，D 错.

【答案】 A、C

例13 (2005·全国卷)如图10所示，绝热隔板 K 把绝热的气缸分隔成体积相等的两部分，K 与气缸壁的接触是光滑的. 两部分中分别盛有相同质量、相同温度的同种气体 a 和 b. 气体分子之间作用势能可忽略. 现通过电热丝对 a 加热一段时间后，a、b 各自达到新的平衡，则(　　)

A. a 的体积增大了，压强变小了

B. b 的温度升高了

C. 加热后 a 的分子热运动比 b 分子的热运动更激烈

D. a 增加的内能大于 b 增加的内能

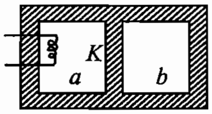


图 10

【巧解】 假设法　结论法

假设加热气体 a 后，活塞不动，由于 a 的体积不变，温度升高，所以压强增大，故活塞应向右运动，a 的体积增大了，b 的体积减小. 此时外界对气体 b 做功，而气缸绝热，故 b 气体温度升高，压强增大，达到新的平衡时，a、b 两部分气体的压强必相等，所以 a 的压强增大，A 错，B 对；又因为 a、b 两部分气体原来的质量、温度、体积、压强均相等，而达到新的平衡状态时，b 的体积小于 a 的体积，故 a 的温度高于 b 的温度，a 增加的内能大于 b 增加的内能，C、D 正确

【答案】 B、C、D

例 14 (2009 宁夏卷)图 11 中系统由左右两个侧壁绝热、底部导热、截面均为 S 的容器组成。左容器足够高，上端敞开，右容器上端由导热材料封闭. 两个容器的下端由可忽略容积的细管连通.

容器内两个绝热的活塞 A、B 下方封有氮气，B 上方封有氢气. 大气的压强 p_0，温度为 $T_0=273\text{K}$，两活塞因自身重量对下方气体产生的附加压强均为 $0.1p_0$. 系统平衡时，各气体柱的高度如图所示. 现将系统的底部浸入恒温热水槽中，再次平衡时 A 上升了一定高度. 用外力将 A 缓慢推回第一次平衡时的位置并固定，第三次达到平衡后，氢气柱高度为 0.8h. 氮气和氢气均可视为理想气体. 求

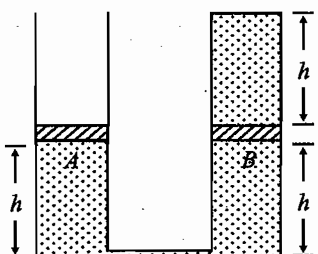


图 11

(Ⅰ)第二次平衡时氮气的体积；

(Ⅱ)水的温度.

【巧解】 模型法

(Ⅰ)将系统的底部浸入恒温热水槽后，从第一次平衡到第二次平衡，密封的氮气和密封的氢气经历的过程均为等压过程.

用外力将 A 缓慢推回第一次平衡时的位置并固定至第三次达到平衡，密封的氮气和密封的氢气经历的均为等温过程.

对于氢气的等温过程，初态为(p_0, hS)，末态为$(p, 0.8hS)$，其中 p 是第三次平衡时氢气的压强.

依据玻意耳定律，有

$p_0 \cdot hS = p \cdot 0.8hS$

整理，得 $p=1.25p_0$

对于氮气的等温过程，初态为$(1.1p_0, V)$末态为$(p+0.1p_0, 2.2hS)$，其中 V 是第二次平衡时氮气的体积.

依据玻意耳定律，有，

$1.1p_0 \cdot V=(P+0.1P_0)\cdot 2.2hS$

整理，得 $V=2.7hS$.

(Ⅱ)对于氮气的等压过程，初态为$(2hS, T_0)$，末态为$(2.7hS, T)$，其中 T 是水的温度.

依据盖·吕萨克定律，有

$$\frac{2hS}{T_0}=\frac{2.7hS}{T}$$

整理，得 $T=368.55\text{K}$.

例 15 (2005 江苏卷)一定质量的气体，压强保持不变，下列过程可以实现的是(　　)

A. 温度升高，体积增大

B. 温度升高，体积减小

C. 温度不变，体积增大

D. 温度不变，体积减小

【巧解】 图解法

一定质量的气体，压强保持不变，由克拉伯龙方程可知 $V\propto T$，其中 $V-T$ 图如图 12 所示. 显然，当温度升高，体积增大；当温度不变时，其体积必然也不变.

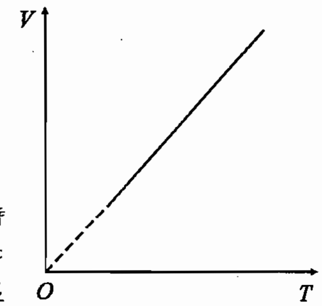


图 12

【答案】 A

【说明】 本题还可以通过作 p－V 图或 p－T 图分析得出结论.

例 16 (2004·上海高考题)一根长约 30cm、管内截面积为 $S=5.0\times10^{-6}\text{m}^2$ 的玻璃管下端有一个球形小容器，管内有一段长约 1cm 的水银柱. 现在需要用比较准确的方法测定球形小容器的容积 V. 可用的器材有：刻度尺(量程 500mm)、温度计(测量范围 0－100℃)、玻璃容器(高约 30cm，直径约 10cm)、足够多的沸水和冷水. (1)简要写出实验步骤及需要的物理量；(2)说明如何根据所测得的物理量得出实验结果.



图 13

【巧解】 转化法　图象法

(1)(即气体温度)T 和气柱长度 x 的值

(2)方法一：因密闭气体的压强为 $P_0+P_{水银}$，气体在不同水温下的变化过程可视为等压变化，故有：$\dfrac{V+Sx}{T}=C$，即 $xS=CT-V$，做出 $xS\sim T$ 图象，纵轴上的截距的绝对值即为容器体积 V.

方法二：测两组数据，分别列出两个方程：$x_1S=CT_1-V$，$x_2S=CT_2-V$，联立方程可解得：$V=\dfrac{T_1x_1-T_2x_2}{T_2-T_1}s$

【答案】 (1)实验步骤：将水银以下的玻璃管浸没在水中，改变水温，用温度计测若干组(或两组)不同水温，需要测出的物理量有不同水温(即气体温度)T 和气柱长度 x 的值. (2)$V=\dfrac{T_1x_1-T_2x_2}{T_2-T_1}s$ 或利用 $Xs\sim T$ 图求纵轴的截距绝对值.

第十章 分子动理论 内能综合测试

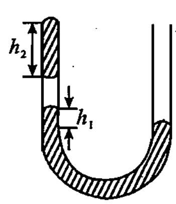
一、选择题(4 分×14=56 分)

1. 在失重情况下,关于气体对器壁的压强,下列说法正确的是( )
   A. 完全失重时,气体对器壁没有压强
   B. 不完全失重时,气体对器壁的压强减小
   C. 不管怎么失重,气体对器壁的压强都不变
   D. 完全失重时,气体对器壁的压强增大

2. (2004 江苏高考题)甲、乙两个相同的密闭容器中分别装有等质量的同种气体,已知甲、乙容器中气体的压强分别为 $P_{甲}$、$P_{乙}$,且 $P_{甲}<P_{乙}$,则( )
   A. 甲容器中气体的温度高于乙容器中的气体的温度
   B. 甲容器中气体的温度低于乙容器中的气体的温度
   C. 甲容器中气体分子的平均动能小于乙容器中气体分子的平均动能
   D. 甲容器中气体分子的平均动能大于乙容器中气体分子的平均动能

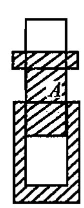
3. 关于绝对零度的说法中,正确的是( )
   A. 气体在绝对零度附近所有分子都将停止运动
   B. 热力学温标是由查理定理"外推"到零压强而引入的,所以即使在绝对零度附近,压强与热力学温度成正比的关系仍存在
更多资料干货 关注微信公众号 学习第一线 赠送5000G学习大礼包
   C. 用摄氏温标来表示,绝对零度的数值约为 -273.15℃
   D. 随着低温技术的发展,绝对零度是可能达到的

4. 如图所示,U 形管封闭端内有一部分气体被水银封住,已知大气压为 P_0,则被封闭气体的压强 P(以汞柱为单位)为( )



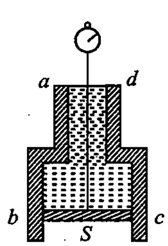
   A. P_0+h_2　　B. P_0-h_1
   C. $P_0-(h_1+h_2)$　　D. $P_0+h_2-h_1$

5. 如图所示,一个圆筒形容器竖直放置在地面上,T 形活塞重为 G,下底面积为 S,上底面积为 $2S$,在其上放一重为 G 的物 A,若大气压强为 p_0,则被封闭气体的压强为( )



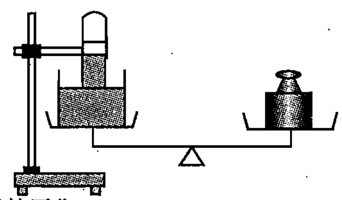
   A. $p=p_0+\frac{G}{S}$　　B. $p=p_0+\frac{2G}{S}$
   C. $p=p_0+\frac{G}{2S}$　　D. $p=p_0$

6. 如图所示,一圆柱形容器上部圆筒较细,下部的圆筒较粗且足够长,容器的底是一可沿下圆筒无摩擦移动的活塞 S,用细绳通过测力计 F 将活塞提着,容器中盛水.开始时,水面与上圆筒的开口处在同一水平面上,在提着活塞的同时使活塞缓慢地下移.在这一过程中,测力计的读数( )



   A. 先变小,然后保持不变　　B. 一直保持不变
   C. 先变大,然后变小　　D. 先变小,然后变大

7. 如图所示,将一端封闭的细玻璃管开口向下竖直插入天平左盘上的水银槽中,玻璃管被固定在铁架台上,玻璃管中水银面上方封有一定质量的气体,玻璃管口与水银槽壁不接触,将砝码放在天平右盘中,使天平平衡.如果大气压强保持不变,当玻璃管中封闭气体的温度升高时,下述哪种说法正确( )



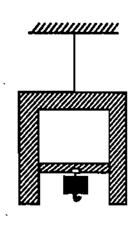
   A. 天平仍保持平衡
   B. 天平左盘升高
   C. 天平右盘升高
   D. 条件不足,无法判断天平是否平衡

8. (2000 全国卷)对于一定质量的理想气体,下列四个论述中正确的是( )
   A. 当分子热运动变剧烈时,压强必变大
   B. 当分子热运动变剧烈时,压强可以不变
   C. 当分子间的平均距离变大时,压强必变小
   D. 当分子间的平均距离变大时,压强必变大

9. (2005 广东卷)封闭在气缸内一定质量的气体,如果保持气体体积不变,当温度升高时,以下说法正确的是( )
   A. 气体的密度增大
   B. 气体的压强增大
   C. 气体分子的平均动能减小
   D. 每秒撞击单位面积器壁的气体分子数增多

10. 在温度均匀的水池中,有一小气泡正在缓慢向上浮起,体积逐渐膨胀,在气泡上浮过程中( )
   A. 气泡内的气体向外界放出热量
   B. 气泡内的气体与外界不发生热传递,其内能不变
   C. 气泡内的气体对外界做功,同时从水中吸收热量,其内能不变
   D. 气泡内的气体对外界做功,其内能减少

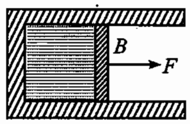
11. 封有理想气体的导热气缸开口向下被竖直悬挂,活塞下系有钩码 P,整个系统处于静止状态,如图所示.若大气压恒定,系统状态变化足够缓慢,下列说法正确的是( )



   A. 外界温度升高,气体的压强一定增大
   B. 外界温度升高,外界可能对气体做正功
   C. 保持气体内能不变,增加钩码质量,气体一定吸热

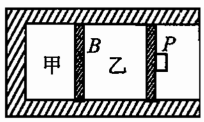
D. 保持气体内能不变,增加钩码质量,气体体积一定减小

12. 固定的水平气缸内由活塞 B 封闭着一定量的气体,气体分子之间的相互作用力可以忽略. 假设气缸壁的导热性能很好,环境的温度保持不变,若用外力 F 将活塞 B 缓慢地向右拉动,如图所示,则在拉动活塞的过程中,关于气缸内气体的下列结论,其中正确的是(　　)



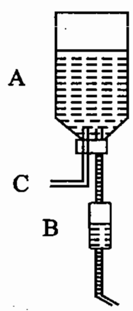
A. 气体对外做功,气体内能减小
B. 气体对外做功,气体内能不变
C. 外界对气体做功,气体内能不变
D. 气体向外界放热,气体内能不变

13. 如图所示,固定容器及可动活塞 P 都是绝热的,中间有一导热的固定隔板 B,B 的两边分别盛有气体甲和乙. 现将活塞 P 缓慢地向 B 移动一段距离,已知气体温度随其内能的增加而升高,则在移动 P 的过程中(　　)



A. 外力对乙做功,甲的内能不变
B. 外力对乙做功,乙的内能增加
C. 乙传递热量给甲,乙的内能增加
D. 乙的内能增加,甲的内能不变

14. 如图所示为医院为病人输液的部分装置,图中 A 为输液瓶,B 为滴壶,C 为进气管,与大气相通. 则在输液过程中(瓶 A 中尚有液体),下列说法正确的是(　　)



A. 瓶 A 中上方气体的压强随液面的下降而增大
B. 瓶 A 中液面下降,但 A 中上方气体的压强不变

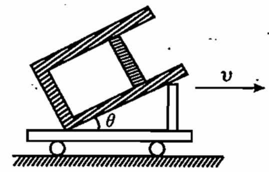
更多资料干货 关注微信公众号 学习第一线 赠送5000G学习大礼包

C. 滴壶 B 中的气体压强随 A 中液面的下降而减小
D. 在瓶中药液输完以前,滴壶 B 中的气体压强保持不变

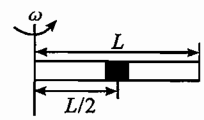
二、非选择题(共 44 分)

15. (10 分)有一空间探测器对一球状行星进行探测,发现该行星上无生命存在,在其表面上,却覆盖着一层厚厚的冻结的二氧化碳(干冰). 有人建议利用化学方法把二氧化碳分解为碳和氧气而在行星上面产生大气,由于行星对大气的引力作用,行星的表面就存在一定的大气压强. 如果一秒钟可分解得到 10^6kg 氧气,要使行星表面附近得到的压强至少 $p=2\times10^4$Pa,那么请你估算一下,至少需要多少年的时间才能完成? 已知行星表面的温度较低,在此情况下,二氧化碳的蒸发可不计,探测器靠近行星表面运行和周期行 2h,行星的半径 $r=1750$km,大气层的厚度与行星的半径相比很小,结果保留两位有效数字.

16. (10 分)如图所示,质量为 M_1,内壁光滑的钢筒在与水平方向夹角为 θ 的情况下固定于质量为 M_2 的平板车上,车置于光滑的水平地面上. 钢筒中的活塞密闭了一定质量的空气,活塞质量为 m. 当小车匀速向右运动时,钢筒被封气体的体积为 V. 现给小车施加水平向右的持续恒力 F,当活塞相对钢筒再次稳定后,钢管内气体的体积多大?(经测定筒内气体温度不变. 被钢筒封闭的空气质量不计,大气压强为 p_0)



17. (10 分)如图所示,长为 L,截面积为 S 的玻璃管,一端封闭,内有一段质量为 m,长度可以忽略的水银柱封闭一段空气,当玻璃管水平放置,以管口为轴以角速度 ω 匀速转动时,水银柱恰好处于管中央,此时管内封闭气体的压强为多少?



18. (14 分)1679 年法国物理学家帕平发明了高压锅,现在高压锅已被广泛使用. 高压锅与普通铝锅不同,锅盖通过几个牙齿似的锅齿与锅体镶嵌旋紧,加上锅盖与锅体之间有橡皮制的密封圈,所以锅盖与锅体之间不会漏气. 在锅盖中间有一排气孔,上面套上类似砝码的限压阀,将排气孔堵住. 当加热高压锅,锅内气体压强增加到一定程度时,气体就把限压阀顶起来,这时蒸气就从排气孔向外推出,由于高压锅内的压强大,温度高,食物容易煮烂,若已知某高压锅的限压阀质量为 0.1kg,排气孔直径为 0.3cm. 则锅内气体的压强最大可达多少? 设压强每增加 3.6×10^3Pa,水的沸点相应增加 1℃,则锅内的最高温度可达多少℃?

第十一章 能量的守恒与耗散

难点巧学

一、物质是由大量分子组成的

1. 分子是微小的,直径的数量级为 10^{-10} m,肉眼看不见,可通过离子显微镜和油膜法等间接测量.在测量和计算中根据需要可将分子的形状简化为球形或立方体形.

2. 分子间有间隙,物质在固态、液态时分子间距离较小,有时可近似为紧密排列;气体的分子间距离较大,远大于分子大小.

3. 阿伏加德罗常数 $N=6.0\times10^{23}\ mol^{-1}$,是联系微观量(分子直径、分子体积、分子质量等)和宏观量(物体的质量、密度、体积、摩尔质量等)的桥梁,有关计算中经常用到.

二、布朗运动

悬浮在液体(或气体)中小颗粒的无规则运动.

1. 特点:颗粒越小现象越明显;温度越高,运动越激烈.

2. 原因:小颗粒受周围液体(气体)分子撞击不平衡的无规则性.

3. 布朗运动是分子热运动的有力实验证明,但两者又有本质区别.

三、分子间作用力

分子之间同时存在着引力和斥力,通常将分子所受的引力和斥力的合力也叫分子力.

更多资料干货关注微信公众号学习第一线 赠送5000G学习大礼包

1. 分子间的引力和斥力同时存在,且都随距离成减函数关系,当分子间距离达到 $10r_0$(10^{-9} m)以上时,分子力都接近为 0,如理想气体.

2. 由于引力 $f_{引}$ 和斥力 $f_{斥}$ 随距离变化的快慢不同而使分子力的方向与距离有关.

$r=r_0$ 时,$f_{引}=f_{斥}$,$f=0$;

$r>r_0$ 时,$f_{引}>f_{斥}$,f 为引力;

$r<r_0$ 时,$f_{斥}>f_{引}$,f 为斥力.

四、内能概念的内涵

1. 分子的平均动能

物体内分子动能的平均值叫分子平均动能.

温度是分子平均动能的标志.温度越高,分子平均动能越大.

【说明】

①温度是大量分子的平均动能的标志,对个别分子来讲,温度无意义.

②不同物质的物体,如果温度相同,则它们的分子平均动能相同,但它们的分子平均速率不同.

③分子的平均动能与物体机械运动的速率无关.

2. 分子势能

①意义:由于分子间存在着引力和斥力,所以分子具有由它们的相对位置决定的能,称为分子势能.

②分子势能的决定因素.

微观上:决定于分子间距离和分子排列情况.

宏观上:分子势能的大小与物体的体积有关,但和温度与分子平均动能的关系不同,分子势能随物体的体积的变化并不是单调的.

3. 物体的内能

物体中所有分子动能与势能的总和叫物体的内能.内能是状态量.

物体的内能是由物质的量、温度、体积等因素所决定的.

对于气体,只考分子动能,一定质量气体的内能只由温度决定.

4. 物体的内能的变化

改变物体的内能有两种方式:

(1)做功——其他形式的能与内能相互转化的过程,内能改变可以用做功的数值来量度.

(2)热传递——是物体间内能转移的过程,内能改变可以用传递的热量数值来量度.

热传递的条件:温度不同,热量自动地从高温物体向低温物体传递,当温度相等时达到动态平衡——即热平衡.热量是过程量,与物体的内能多少、温度高低无关.

做功和热传递在改变物体的内能上是等效的.

五、能的转化和守恒定律

1. 热力学第一定律

(1)内容:物体内能的增量△E 等于外界对物体做的功 W 和物体吸收的热量 Q 的总和.

(2)表达式:$\Delta U=W+Q$

(3)符号法则:外界对物体做功物体体积减小.W 取正值;物体对外界做功物体体积增大,W 取负值.物体吸收热量,Q 取正值;物体放出热量,Q 取负值;物体内能增加,ΔU 取正值,物体内能减少,ΔU 取负值.

2. 能的转化和守恒定律

能量既不能凭空产生,也不能凭空消失,它只能从一种形式转化为别的形式,或从一个物体转移到别的物体.

【说明】 (1)能的转化和守恒定律是自然界的普遍规律.违背该定律的永动机是永远无法实现的.

(2)物质的不同运动形式对应不同的形式的能.各种形式的能在一定条件下可以转化或转移,在转化或转移过程中,能的总量守恒.

3. 热力学第二定律

(1)两种表述:

不可能使热量由低温物体传递到高温物体而不引起其他变化.

不可能从单一热源吸收热量并把它全部用来做功,而不引起其他变化.或:第二类永动机是不可能制成的.

(2)意义:有大量分子参与的宏观过程有方向性.如"能量耗散"

4. 能源与环境

常规能源有:煤、石油、天然气等,存量有限,利用时对环境有污染.

新能源有:风能、水流能、太阳能、沼气、原子能等,资源丰富,无(或者少)污染.

◀活题巧解▶

例1　已知下列物理量:M(摩尔质量)、m(分子质量)、ρ(物质密度)、V(摩尔体积)、v(分子体积)、N_A(阿伏加德罗常数),由这些量组成以下关系式中,对固体、液体、气体都成立的是(　　)

A. $N_A=\frac{v}{V}$　　B. $N_A=\frac{V}{v}$　　C. $V=\frac{M}{\rho}$

D. $V=\rho M$　　E. $m=\frac{M}{N_A}$　　F. $m=\rho v$

【巧解】　排除法

这六个物理量在国际单位制中的单位如下表所示:

物理量	M	m	ρ	V	v	N_A
单位	kg/mol	kg	kg/m^3	m^3/mol	m^3	mol^{-1}

通过对题中各式的单位验算,立即可先排除A、D、F三个关系式.对固体和液体,可设想它们的分子一个紧挨一个排列的,因此阿伏加德罗常数与摩尔体积、分子体积的关系式如B所示,但对气体不成立.只有C、E两式对固体、液体、气体都能成立.

【答案】　C、E

例2　已知金刚石的密度$\rho=3500kg/m^3$.现有一块体积$V=5.7\times10^{-8}m^3$的金刚石,它含有多少个碳原子?假如金刚石中碳原子是紧密地堆在一起的,试估算碳原子的直径.

【巧解】　模型法

这类问题主要不在"数"而在"理",不追求数据精确而追求方法正确.例如在估算碳原子的直径时,首先要建立起一个理想化的物理模型;把碳原子看成是紧密排列的,将碳的摩尔体积分成N个等分,每个等分就是一个碳原子.若把分子看成小球,则这一等分就是一个小球.这样就能很快估算出碳原子的体积和直径来.

更多资料干货 关注微信公众号 学习第一线 赠送5000G学习大礼包

碳的摩尔体积:$V_N=\frac{M}{\rho}=\frac{1.2\times10^{-2}}{3500}=3.4\times10^{-6}m^3$

每个碳原子的体积:$V_0=\frac{V_N}{N}=\frac{3.4\times10^{-6}}{6.02\times10^{23}}=5.6\times10^{-30}m^3$

金刚石所含碳原子数:$n=\frac{V}{V_0}=\frac{5.7\times10^{-8}}{5.6\times10^{-30}}=1.02\times10^{22}$(个)

碳原子的直径约为:$d=\sqrt[3]{V_0}=\sqrt[3]{5.6\times10^{-30}}=1.8\times10^{-10}m$

【答案】　1.02×10^{22}个、$2.2\times10^{-10}m$

例3　将$1cm^3$的油酸溶于酒精,制成$200cm^3$的油酸酒精溶液.已知$1cm^3$溶液有50滴,现取1滴油酸酒精溶液滴到水面上,随着酒精溶于水,油酸在水面上形成一单分子薄层,已测出这一薄层的面积为$0.2m^2$,由此可估测油酸分子的直径为________m.

【巧解】　估算法

1滴油酸酒精溶积的体积为　$V'=\frac{1}{N}cm^3$

(式中$N=50$,为总的滴数.)

由于取用的油酸酒精溶液的浓度为$\frac{1}{200}=0.5\%$,故1滴溶液的体积为

$$V=V'\times0.5\%=\frac{1}{N}\times0.5\%\ cm^3=\frac{1}{N}\times0.5\%\times10^{-6}m^3$$

已知油酸薄层的面积为$S=0.2m^2$,所以油酸分子的直径为

$$D=\frac{V}{S}=\frac{\frac{1}{N}\times0.5\%\times10^{-6}}{S}=\frac{1}{NS}\times0.5\%\times10^{-6}m$$
$$=\frac{1}{50\times0.2}\times0.5\%\times10^{-6}m$$
$$=5\times10^{-10}m$$

【答案】　$5\times10^{-10}m$

例4　普通一个房间的面积$S=15m^2$,高$h=3m$,已知空气的平均摩尔质量$M=2.9\times10^{-2}kg/mol$,这个房间内空气的质量约为(　　)

A. 几g　　B. 几kg　　C. 几十kg　　D. 几百kg

【巧解】　估算法

房间的空气体积:$V=Sh=15\times3m^3=45m^3$

把这些空气看成在标准状况下,因为标准状况下1mol气体的体积$V_0=22.4\times10^{-3}m^3$,因此这些空气的摩尔数为:

$$n=\frac{V}{V_0}=\frac{45}{22.4\times10^{-3}}mol\approx2\times10^3mol$$

由空气的平均摩尔质量得空气质量为:

$m=nM=2\times10^3\times2.9\times10^{-2}kg=59kg$

【答案】　C

例5　从较暗的房间里观察到入射阳光的细光束中有悬浮在空气里的微粒,这些微粒的运动是布朗运动吗?为什么?

【巧解】　推理法

对于布朗运动,我们应当弄清如下几点:

1. 虽然布朗运动表现为悬浮在液体或气体中微粒的运动,但它却必须间接地反映液体或气体分子的运动,是后者运动的一种结果.这种"树动知风"的原理在物理学中是十分常见的.

2. 引起悬浮在液体和气体中的微粒的运动,其原因可能是多方面的,如流体流动、重力作用,等等.仅由于流体分子的撞击而引起的运动才属于布朗运动.

3. 虽然布朗运动的成因是由于周围流体的分子的撞击,但并非有这种撞击就一定产生布朗运动.如果微粒受各向的撞击作用相平衡,运动也是不可能产生的.因此,悬浮在流体中的微粒足够小,是微粒产生布朗运动的必要条件之一.

【答案】　这些微粒在空气里的运动不属布朗运动.因为这些肉眼所能看到的微粒在微观领域里是相当大的,它所受到各方面空气分子的撞击作用几乎相平衡.空气分子的撞击对于相当大的颗粒来说,可以认为是不影响它的运动状态的.这些尘埃的运动是受空气的流动和重力的作用等外部原因所引起的.

例6　关于分子间相互作用力的以下说法中,正确的是(　　)

A. 当分子间的距离$r=r_0$时,分子力为零,说明此时分子间既不存在引力,也不存在斥力

B. 分子力随分子间的距离r的变化而变化,当$r>r_0$时,分子间的引力和斥力都增大,但引力比斥力增加得快,故分子力表现为引力

C. 当分子间的距离$r<r_0$时,分子间的引力和斥力都增大,但斥力比引力增加得快,故分子力表现为斥力

D. 当分子间的距离$r>10^{-9}m$时,分子间的作用力可以忽略不计

【巧解】　图象法

分子间的作用力(合力)与分子间的距离有关,其关系如图1所示.由图1可知:当分子间距离$r=r_0$时,引力和斥力同时存

在,只是作用互相抵消分子力表现为零. 所以,选项 A 不正确.

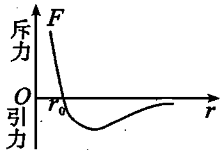


图 1

当 $r > r_0$ 时,引力和斥力都随距离的增大而减小,但斥力减小得更快,分子间的相互作用表现为引力. 所以,选项 B 不正确.

当 $r < r_0$ 时,分子间引力和斥力随距离的减小而增大,但斥力比引力增长得更快,分子间的相互作用表现为斥力. 所以,选项 C 正确.

当分子间的距离超过它们的直径 10 倍以上时,相互作用就变得十分微弱,可以认为分子力等于零. 所以,选项 D 正确.

【答案】 C、D

例 7 设分子间距离 $r = r_0$(平衡距离)时作用力为零,则当一个分子从远处以某一动能向另一分子趋近的过程中( )

A. $r > r_0$ 时,分子势能不断减小,动能不断增加

B. $r = r_0$ 时,分子势能为零,动能最大

C. $r < r_0$ 时,分子势能增大,动能减小

D. r 具有最小值时,分子动能为零,分子势能最大

【巧解】 图象法

分子势能的变化是跟分子力做功联系在一起的,而分子间的作用力(合力)又跟分子间的距离有关,其关系如图 2 所示.

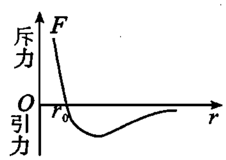


图 2

当分子间距离:$r > r_0$ 时,分子间的作用力表现为引力;

当 $r < r_0$ 时,分子间的作用力表现为斥力.

当分子间为引力时,趋近过程中分子力做正功,分子势能减小;

当分子间为斥力时,趋近过程中分子力做负功,分子势能增加.

更多资料干货 关注微信公众号 学习第一线 赠送5000G学习大礼包

分子间同时存在着引力和斥力,这是通过对大量事实(现象)的分析推理、概括,然后作出科学的假设. 再由实验来验证的结论. 实际分子的结构是很复杂的,我们不能把分子模型简单等同于两个物体间的相互作用,譬如说在两个分子趋近的过程中分子动能和势能都不可能为零,因此选项 D 是错误的

【答案】 A、C

例 8 关于分子势能,下列说法中正确的是(设两分子相距无穷远时分子势能为 0)( )

A. 体积增大,分子势能增大,体积缩小,分子势能减小

B. 当分子间距离 $r = r_0$ 时,分子间合力为 0,所以分子势能为 0

C. 当分子间作用力为引力时,体积越大,分子势能越大

D. 当分子间作用力为斥力时,体积越大,分子势能越大

【巧解】 分析推理法

设想两个分子间距处于无穷远处($r > 10^{-9}$m),此时分子间势能为 0. 当两个分子越来越近,分子间引力做正功,分子势能减小,当 $r = r_0$ 时,分子势能减到最小为负值,故选项 B 错误. 分子间为引力时,体积越大,分子间距越大,分子间引力做负功,分子势能增大;分子间为斥力时,体积越大,分子间距越大,分子间斥力做正功,分子势能减小. 故选项 A 与 D 错,选项 C 正确.

【答案】 C

例 9 关于物体内能及其变化,下列说法正确的是( )

A. 物体的温度改变时,其内能必定改变

B. 物体对外做功,其内能不一定改变,向物体传递热量,其内能不一定改变

C. 对物体做功,物体内能必定改变;物体向外传出一定热量,其内能必定改变

D. 若物体与外界不发生热交换,则物体的内能必定不改变

【巧解】 分析推理法

一定质量的物体,其内能由温度和体积共同决定,物体的温度改变时,其内能不一定改变. 所以 A 错误. 做功和热传递是改变物体内能的两种方式,若物体对外做功 W 焦,同时吸收 Q 焦的热量,且①$W > Q$,则物体的内能减少;②$W = Q$,则物体的内能不变;③$W < Q$,则物体的内能增加,所以只有 B 正确.

【答案】 B

例 10 (2010 广东卷)图 3 是密闭的气缸,外力推动活塞 P 压缩气体,对缸内气体做功 800J,同时气体向外界放热 200J,缸内气体的( )

A. 温度升高,内能增加 600J

B. 温度升高,内能减少 200J

C. 温度降低,内能增加 600J

D. 温度降低,内能减少 200J

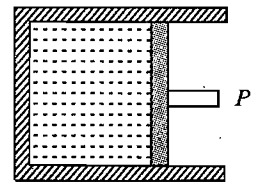


图 3

【巧解】 推理法

依据热力学第一定律,有

$\Delta U = W + Q = 800\text{J} - 200\text{J} = 600\text{J}$.

【答案】 A

例 11 下面设想符合能量转化和守恒定律的是( )

A. 利用永久磁铁间的作用力,造一台永远转动的机械

B. 做成一条船,利用流水的能量逆水航行

C. 通过太阳照射飞机,即使飞机不带燃料也能飞行

D. 利用核动力,驾驶地球离开太阳系

【巧解】 守恒法

利用磁场能可以使磁铁所具有的磁场能转化为动能,但由于摩擦力的不可避免性,动能最终转化为内能使转动停止,故 A 错,让船先静止在水中,设计一台水力发电机使船获得足够电能,然后把电能转化为船的动能使船逆水航行;同理可利用光能的可转化性和电能的可收集性,使光能转化为飞机的动能,实现飞机起飞;故 B、C 可选;设计一种利用反冲理论以核动力为能源,使地球获得足够大的能量,挣脱太阳引力的束缚而离开太阳系,故 D 可选.

【答案】 B、C、D

例 12 在标准大气压下,质量 100g,温度为 100℃ 的水变为 100℃ 的水蒸气时,体积由 $1.04 \times 10^2 \text{cm}^3$ 变为 $1.68 \times 10^5 \text{cm}^3$. 试计算水蒸气的内能增加了多少?(已知水在 100℃ 时的汽化热为 2.26×10^6J/kg)

【巧解】 解析法

要使 100℃ 的水变为 100℃ 的水蒸气必须吸收汽化热,因此水蒸气内能增加,但与此同时,水蒸气的体积比水的体积要大得多,体积膨胀要对外做功消耗内能.

100g100℃ 的水变为 100℃ 的水蒸气时,所吸收的热量为:

$Q = Lm = 2.26 \times 10^6 \times 0.1 = 2.26 \times 10^5$(J)

水变为水蒸气时,等压膨胀对外做的功为:

$W = p\triangle V = 1.013 \times 10^5 \times (1.68 \times 10^5 - 1.04 \times 10^2) \times 10^{-6} = 1.70 \times 10^4$(J)

根据热力学第一定律,水蒸气的内能增加量为:

$\triangle U = Q - W = 2.26 \times 10^5 - 1.70 \times 10^4 = 2.09 \times 10^5$(J)

【答案】 2.09×10^5(J)

例13 如图4所示，容器A、B各有一个可以自由移动的轻活塞，活塞下面是水，上面是大气，大气压强恒定. A、B的底部由带有阀门K的管道相连，整个装置与外界绝热. 起初，A中水面比B中的高，打开阀门，使A中的水逐渐向B中流，最后达到平衡. 在这过程中，(　　)

A. 大气压力对水做功，水的内能减小

B. 水克服大气压力做功，水的内能减小

C. 大气压力对水不做功，水的内能不变

D. 大气压力对水不做功，水的内能增加

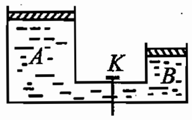


图4

【巧解】 守恒法

容器A、B各有一个可以自由移动的轻活塞，活塞的质量与器壁的摩擦忽略不计，打开阀门K后，根据连通器的原理，A中的水逐渐通过阀门流向B中，直到左右两边水面相平时达到平衡.

平衡前，A容器中的A活塞向下移动，设A活塞截面积为S_1，移动距离为l_1，大气压力推动A活塞向下移动时对水做的功 $W_A=\rho_0S_1l_1$

平衡前，B容器中的B活塞向上移动，设B活塞截面积为S_2，移动距离为l_2，大气压力通过活塞对水做负功 $W_B=-\rho_0S_2l_2$

由于水的总体积不变，则有$S_1l_1=S_2l_2$，即A容器中大气压对水做的功，与B容器中水克服大气压力做的功大小相等. 在整个过程中，大气压力对水做的功是上述两个功(正功W_A、负功W_B)的代数和，即$W_A+W_B=\rho_0S_1l_1-\rho_0S_2l_2=0$，从而看出选项A、B不正确.

大气压力对水不做功，同时整个装置与外界绝热，没有热交换，但是水从容器A流向容器B的过程中，水的质心下降，水的重力做正功，水的重力势能减小. 根据量守恒定律，减少的水的势能要转化为水的内能，水的内能增加. 这样选项C也不正确，只有选项D正确.

【答案】 D

更多资料干货 关注微信公众号 学习第一线 赠送5000G学习大礼包

例14 一定质量的气体从外界吸收了4.2×10^5J的热量，同时气体对外做了6×10^5J的功，问：

(1)物体的内能增加还是减少？变化量是多少？

(2)分子势能是增加还是减少？

(3)气体的温度是上升还是降低？

【巧解】 守恒法

(1)气体从外界吸热，$Q=4.2\times10^5$J 气体对外做功，$W=-6\times10^5$J. 由热力学第一定律得：

$\Delta U=W+Q=(-6\times10^5)+(4.2\times10^5)\text{J}=-1.8\times10^5\text{J}$

【答案】 气体的内能减少了，减少1.8×10^5J

(2)因为气体对外做功，所以气体的体积膨胀，分子间的距离增大了，考虑此时分子间相互作用为引力，分子力做负功，气体分子势能增加了.

(3)因为气体内能减少，同时气体分子势能增加，说明气体分子的平均动能一定减少了，所以，气体温度升高.

例15 用两种不同的金属丝组成一个回路，接触点1插在热水中，接触2点插在冷水中，如图5所示，电流计指针会发生偏转，这就是温差发电现象，这一实验是否违反热力学第二定律？热水和冷水的温度是否会发生变化？简述这过程中能的转化情况.

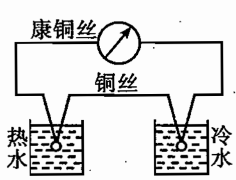


图5

【巧解】 守恒法

这一实验不违反热力学第二定律. 热力学第二定律的开尔文表述为"不可能从单一热源吸取热量，使之完全变为有用的功而不产生其他影响"此实验中热水为高温热源，冷水为低温热源，热水的温度下降，冷水的温度升高 这说明热水中的一部分内能转化为电流的能量，而一部分电流能量在冷水中放热，又转化为冷水的内能，即产生了其他影响.

【答案】 这一实验不违反热力学第二定律；热水的温度下降，冷水的温度升高；热水中的一部分内能转化为电流的能量，而一部分电流能量在冷水中放热，又转化为冷水的内能

例16 用质量$M=0.5$kg的铁锤，去打击质量$m=2$kg的铁块. 铁锤以$v=12$m/s的速度与铁块接触，打击以后铁锤的速度立即变为零. 设每次打击产生的热量中有$\eta=50\%$被铁块吸收，共打击n=50次，则铁块温度升高多少？已知铁的比热$C=460$J/kg℃.

【巧解】 转化法

铁锤打击过程中能的转换及分配关系为

铁锤动能 $\frac{1}{2}Mv^2$ → 铁锤和铁块增加的内能 → 铁块升温 $Q=Cm\Delta t$

铁锤打击$n=50$次共产生热量：$Q=n\cdot\frac{1}{2}Mv^2$

设铁块的温度升高Δt，由

$\eta Q=\eta\cdot n\cdot\frac{1}{2}Mv^2=Cm\Delta t$

得$\Delta t=\frac{\eta nMv^2}{2Cm}=\frac{50\%\times50\times0.5\times12^2}{2\times460\times2}C$

$=0.98$℃

【答案】 $\Delta t=0.98$℃

例17 用功率$P=600$W的电动机带动钻头在铁板上钻孔，在$t=3$min内产生热量的最大值为多少？若其中$\eta=75\%$被铁块吸收，铁块的质量为$m=0.7$kg，则铁块的温度升高多少？已知铁的比热为C=460J/kg·℃.

【巧解】 转化法

在这个钻孔过程中，能的转换及分配如下：

电能 → 钻头的机械能 → 钻头和铁块增加的内能 →(η) 铁块吸热升温

当供给电动机的电能完全转化为钻头的机械能，钻头的机械能完全转化为内能时，就可算出所产生的最大热量. 由上述能的分配，根据吸热公式可算出铁块所升高的温度.

在$t=3$min内产生的热量的最大值为：

$Q=Pt=600\times3\times60\text{J}=1.08\times10^5\text{J}$

设铁块升高的温度为Δt，由吸热公式：

$\eta Q=cm\Delta t$ 得$\Delta t=\frac{\eta Q}{cm}=\frac{75\%\times1.08\times10^5}{460\times0.7}$℃$=251.6$℃

【答案】 Δt=251.6℃

第十一章 能量的守恒与耗散综合测试

一、选择题(4 分 ×12 =48(分)

1. 在宇宙间不能够达到的温度是(　　)

A. -1K　　B. 27K　　C. 273.15℃　　D. 10^5K

2. 关于布朗运动的说法正确的是(　　)

A. 布朗运动是指液体分子的无规则运动

B. 液体中的悬浮颗粒越大,布朗运动越显著

C. 布朗运动的产生的原因是液体中悬浮颗粒内分子做无规则运动

D. 布朗运动的产生原因是液体分子在做无规则运动,且液体分子对小颗粒的碰撞不均匀造成的

3. 下列说法正确的是(　　)

A. 热量能够从高温物体传到低温物体,但不能从低温物体传到高温物体

B. 功可以全部转化为热,但热不能全部转化为功

C. 不可能从单一热源吸收热量并把它全部用来做功,而不引起其他任何变化

D. 凡是不违反能量守恒定律的过程都一定能实现

4. 某物质的摩尔质量为 M,密度为 ρ,阿伏加德罗常数为 N,则每个分子的质量和单位体积内所含的分子数目分别是(　　)

A. $\frac{N}{M}, \frac{N\rho}{M}$　　B. $\frac{M}{N}, \frac{MN}{\rho}$

更多资料干货 关注微信公众号 学习第一线 赠送1000G学习大礼包

C. $\frac{N}{M}, \frac{M}{\rho N}$　　D. $\frac{M}{N}, \frac{N\rho}{M}$

5. 分子 a 和分子 b 开始时它们间的距离小于 r_0,现使分子 a 固定不动,让分子 b 逐渐远离分子 a,越过平衡位置,最终它们间的距离远大于 r_0,在整个过程中(　　)

A. 分子力总是对分子 b 做正功

B. 分子 b 总是克服分子力做功

C. 先是分子 b 克服分子力做功,然后分子力对 b 做正功

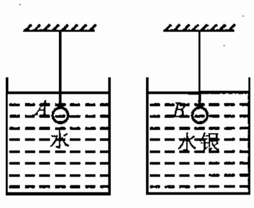
D. 先是分子力对 b 做正功,然后 b 克服分子力做功

6. 某气体从外界吸收了 500cal(卡)的热量,同时又对外界做了 500J 的功,则该气体的内能变化为(　　)

A. 增加了 2600J　　B. 增加了 1600J

C. 减少了 380J　　D. 0

7. 如图,A、B 两球完全相同,分别浸没在水和水银的同一深度,A、B 两球用同种特殊材料制成,当温度稍微升高时,球的体积会明显地变大,如果开始水和水银的温度相同,且两液体温度同时缓慢地升高同一值,两球膨胀后,体积相等,则(　　)



A. A 球吸收的热量较多　　B. B 球吸收的热量较多

C. 两球吸收的热量一样多　　D. 无法确定

8. 河面水温高于河底温度,一个气泡从河底加速上升到水面,在这一过程中,气泡空气质量不变,气泡吸热为 Q,内能增加为 ΔU,则(　　)

A. 重力对气泡做负功,$\Delta U < Q$

B. 浮力对气泡做正功,$Q < \Delta U$

C. 合力对气泡做正功,$Q < \Delta U$

D. 气体膨胀对外做功,$Q > \Delta U$

9. 把液体分子看成球体,假定分子紧密排列,分子间的距离可忽略不计,如已知某种液体的摩尔质量为 μ,该液体的密度为 ρ,阿伏加德罗常数为 N_A,则该液体的分子直径为(　　)

A. $\sqrt[3]{\frac{6\mu}{\pi\rho N_A}}$　　B. $\sqrt[3]{\frac{6\mu N_A}{\pi\rho}}$

C. $\sqrt[3]{\frac{6N_A}{\pi\rho\mu}}$　　D. $\sqrt[3]{\frac{3\mu N_A}{4\pi\rho}}$

10. 设想在太空中有一团稀薄气体(原始星云),其温度极低,接近绝对零度,因此,气团内的分子运动的速度极小,甚至可以忽略不计,在分子力的作用下,下列哪些现象是可能发生的(　　)

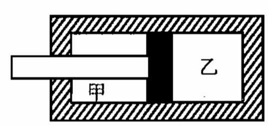
A. 气团的体积将缩小,同时温度升高

B. 气团的体积将缩小,同时温度降低

C. 气团的体积将膨胀,同时温度升高

D. 气团的体积将膨胀,同时温度降低

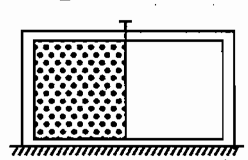
11. 右图中活塞将气缸分成两气室,气缸、活塞(连同拉杆)是绝热的,且不漏气,以 $E_甲$、$E_乙$ 分别表示甲、乙两气室中气体的内能,则在拉杆缓慢向外拉的过程中(　　)



A. $E_甲$ 不变,$E_乙$ 变小　　B. $E_甲$ 增大,$E_乙$ 不变

C. $E_甲$ 增大,$E_乙$ 减小　　D. $E_甲$ 不变,$E_乙$ 减小

12. 如右图所示的绝热容器,中间用隔板分成两部分,左侧存有气体,右侧是真空,现将隔板左侧的气体自由膨胀到右侧直至平衡,在此过程中(　　)



A. 气体对外做功,温度降低,内能减少

B. 气体对外做功,温度不变,内能不变

C. 气体不做功,温度不变,内能不变

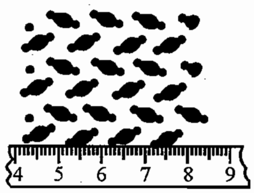
D. 气体不做功,温度不变,内能减少

二、填空题(5 分 ×5 = 25 分)

13. 如果取分子间距离 $r = r_0$($r_0 = 10^{-10}$m)时为分子势能的零势能点,则 $r < r_0$ 时,分子势能为________值;$r > r_0$ 时,分子势能为________值.如果取 $r \to \infty$ 远时为分子势能的零势能点,则 $r > r_0$ 时,分子势能为________值;$r < r_0$ 时,分子势能为________值.(填正、负、零)

14. 在平均深度是 10m,水面面积为 $10km^2$ 的湖里放入 1g 食盐,假设食盐均匀地溶解在湖水里,那么 $1cm^3$ 的水里所含食盐分子________个?(食盐的摩尔质量为 58.5g/mol)

15. 现在已经有能放大数亿倍的非光显微镜(如电子显微镜、场离子显微镜等),使得人们观察某些物质内的分子排成为可能,图 3 是用放大倍数为 3×10^7 倍的电子显微镜拍摄的二硫化铁晶体的照片,据图可以粗略地测出二硫化铁分子体积的数量级为________m^3.(照片下方是用最小刻度为毫米的刻度尺测量照片的情况)



16. 瀑布由高处落下,底端的水温比顶端的水温高 0.37℃,已知水在下落过程中,重力势能减少量的 80% 转化为水的内能,由此可求得瀑布的高度是________m.

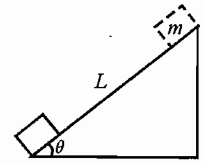
17. 钢管长为 l,直径为 d,放在转速为 n 的车床上加工,已知车刀的切削力为 F,钢的密度为 ρ,比热容为 c 切削时有 $\eta = 20\%$ 的功使钢管升高温度,那么切削 t 时钢管的温度升高了________.

三、计算题(共 47 分)

更多资料干货 关注微信公众号 学习第一线 赠送5000G学习大礼包

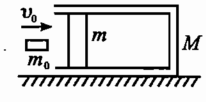
18. (11 分)焦耳在利用两锤下落带动叶片搅水测定热功当量的实验中,如果每个重锤的质量都是 $M = 5.3$kg,水的质量 $m = 5$kg,比热容 c = 1cal/g · ℃,重锤连续从 $h = 2$m 高处落下 $n = 20$ 次,测得水温升高 $\Delta t = 0.2$℃,试根据实验数据计算热功当量的值.

19. (12 分)如右图所示,一个质量 $m = 100$g 的金属块恰能从一个长 $L = 4$m、倾角 $\theta = 30°$ 的斜面的顶端匀速下滑至底端,损失的机械能有 20% 被金属块吸收,求在下滑过程中金属块产生的内能及升高的温度.(金属块的比热容为 98.7J/(kg · ℃),金属块可以视为质点.



20. (10 分)人的体温是由下丘脑中特殊神经细胞监察和控制的,它们对人体血液温度很敏感,当下丘脑温度高于 37℃时,人体散热机制(如血管舒张、出汗等)就活跃起来,已知 37℃蒸发 18g 汗水所需能量 $E = 4300$J,现有一中年人慢步行走时肌体新陈代射功率为 35W,而此时人体通过传导辐射等方式(不包括出汗)产生散热功率只有 33W,因此人体要通过出汗来保持散热和代谢的平衡,即保持体温为 37℃,那么此人慢步行走 1h 出汗约为多少克?

21. (14 分)如图所示,在光滑水平地面上有一气缸,缸体质量为 M,活塞质量为 m,活塞与缸体摩擦不计,气缸内封闭有理想气体,且与外界没有热交换,开始时气缸、活塞处于静止状态,气体体积为 V_0,一颗质量为 m_0 的子弹,以速度 v_0 水平射入活塞并留在活塞中,活塞向右移动压缩气体,当气体压缩到最小体积为 $\frac{V_0}{2}$ 时,求气体内能的增加量.



第十二章 电场 直流电路

难点巧学

一、巧用库仑定律解决带电导体球间力的作用

关于库仑定律公式 $F=k\frac{Q_1Q_2}{r^2}$:

1. 库仑定律只适用于真空中点电荷,当 $r\to 0$ 时,两电荷大小、形状不能忽略,就不能看做点电荷,因此不能认为 $F\to\infty$.

2. 对于可看做是点电荷的带电体,r 取几何中心间的距离;不能看作点电荷的带电体间作用可利用等效观点,将其分割等效为点电荷,再运用库仑定律分析解答.

3. 静电力同样遵循力的独立作用原理,即两点电荷的静电力不受其他电荷影响.

例1 两个半径均为 1cm 的铜球带有相同大小的电量 qc,球心间相距 10cm,它们之间的静电力 F 大小可能是( )

A. 大于 $9.0\times10^{11}q^2$N　　B. 小于 $9.0\times10^{11}q^2$N

C. 等于 $9.0\times10^{11}q^2$N　　D. 前三种情况均有可能

【巧解】 假设它们靠近后仍均匀带电,则可用球心间距离

更多资料干货 关注微信公众号 学习第一线 赠送5000G学习大礼包

作为库仑定律中的 r,则 $F=k\frac{q^2}{r^2}=9.0\times10^{11}q^2$N. 但铜球是导体,两球靠近时由于相互作用而重新分布,不可能均匀带电,故 C 错;由于两球所带电性未确定,两球靠近时,若两球带异种电荷,则由于互相吸引而靠近,相当于两电荷间距离减少,故静电力大于 $9.0\times10^{11}q^2$N;若两球带同种电荷,静电力将小于 $9.0\times10^{11}q^2$N,故 A、B 可能成立.

二、巧选电场强度公式解决有关问题

1. 电场是电荷周围客观存在的物质,对放入其中的电荷产生力的作用.

2. 电场线一般不是电荷运动轨迹,也不能确定电荷运动方向.

3. 场强的计算:

(1) $E=\frac{F}{q}$ 是定义式,适用于任何电场,E 与 F、q 无关,只取决于电场本身,E 的方向为正电荷在该点受到的电场力方向.

(2) $E=k\frac{Q}{r^2}$,仅适用于真空中点电荷 Q 形成的电场.

(3) $E=\frac{U_{AB}}{d}$,仅适用于匀强电场,其中,d 为 AB 间沿场强方向的距离.

例2 如图 1 所示,上下两带电小球 a、b 质量均为 m,电量分别为 q 和 $-q$,两球间用绝缘细线连接,上球又用绝缘细线悬挂在天花板上,在两球所在空间有水平向左的匀强电场,电场强度为 E,平衡时细线都被拉紧.

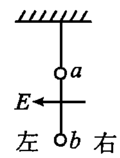
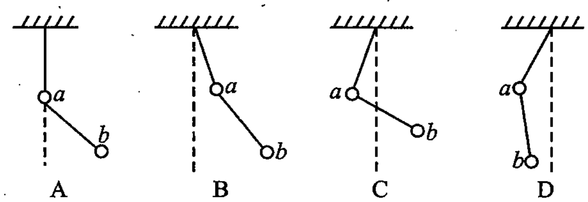


图 1

(1)下边 $A\sim D$ 四张图中,表示平衡状态的图可能是( )

(2)设上、下两根绝缘细线的张力大小分别为 T_1、T_2,则( )



A. $T_1=2mg,T_2=\sqrt{(mg)^2+(qE)^2}$

B. $T_1>2mg,T_2>\sqrt{(mg)^2+(qE)^2}$

C. $T_1<2mg,T_2<\sqrt{(mg)^2+(qE)^2}$

D. $T_1=2mg,T_2<\sqrt{(mg)^2+(qE)^2}$

【巧解】 如图 2(甲)所示,先把两个小球看作一个整体,这个整体受到的外力为:①竖直向下的重力 $2mg$,②水平向左电场力 $qE(+q)$,③水平向右电场力 $qE(-q)$,④上端细线的拉力为 T_1.

由整体水平和竖直两个方向平衡可推知:上段细线的拉力 T_1 一定与整体的重力($2mg$)等大反向,即上段细线一定沿竖直方向.

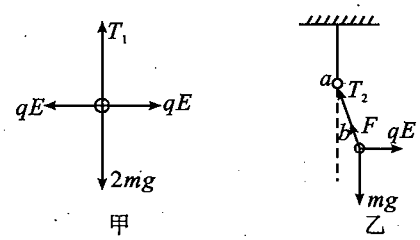


图 2

如图 2(乙)所示,再隔离 b 球分析,其受力为:①竖直向下的重力 mg;②水平向右的电场力 qE;③a 球对 b 球的静电力 F;④下端细线的拉力 T_2.

由 b 球水平方向平衡可推知:下端细线必须向左上方倾斜.

对 b 球由平衡条件的推论有:

$T_2+F=\sqrt{(mg)^2+(qE)^2}$,所以 $T_2<\sqrt{(mg)^2+(qE)^2}$

综上分析可知,正确答案是(1)A　(2)D.

三、巧用电场能的特性解决电场力做功问题

1. 电场力对场中电荷做的功与电荷移动的路径无关,与电荷的初、末位置有关,在匀强电场中,$W=qEd$.

2. 电势 $\varphi=\varepsilon/q$ 是描述电场能的性质的物理量,是标量. 已知某点电势时,点电荷 q 在该点具有势能为 $\varepsilon=q\varphi$.

3. 等势面是电势相等的点构成的面,它形象地表示电场的电势的分布. 等势面的特点:

(1)等势面上各点电势相等,在等势面上移动电荷,电场力不做功.

(2)等势面一定跟电场线垂直,而且电场线总是由电势高的等势面指向电势较低的等势面.

(3)相邻等势面间电势差相等;在等势面密处场强大,等势面疏处场强小.

例3 如图3所示,光滑绝缘细杆竖直放置,它与以正电荷 Q 为圆心的某圆相交于 B、C 两点,质量为 m,带电量为 $-q$ 的有孔小球从杆上 A 点无初速度下滑,已知 $q\ll Q$,$AB=h$,小球滑到 B 点时的速度大小为 $\sqrt{3gh}$,求

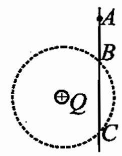


图3

(1)小球由 A 到 B 的过程中电场力做的功;

(2)AC 两点的电势差.

【巧解】 (1)小球由 A 到 B 的过程,重力做正功,电场力做正功,由动能定理得:

$$mgh+W_{电}=\frac{1}{2}mv_B^2-0$$

所以 $W_{电}=\frac{1}{2}m\cdot 3gh-mgh=\frac{1}{2}mgh$

(2)因 $W_{电}=qU_{AB}$,所以有 $U_{AB}=\frac{W_{电}}{q}=\frac{mgh}{2q}$

由于 B、C 在同一等势面上,所以 A、C 两点间的电势差等于 A、B 两点间的电势差

更多资料干货 关注微信公众号 学习第一线 赠送5000G学习大礼包

故 $U_{AC}=U_{AB}=\frac{mgh}{2q}$

【答案】 (1)$W_{电}=\frac{1}{2}mgh$　(2)$U_{AC}=\frac{mgh}{2q}$

四、巧用电容器特点解决电容器动态问题

平行板电容器为考查的热点. 电容器的带放电过程以及随电容器充电量的变化,电场、电势差等物理量的变化,特别是平行板电容器,两极板间的电场可以认为是匀强电场,往往与带电粒子的运动相结合.

关于电容器的动态分析:

(1)平行板电容器充电后,继续保持电容器的两极板与电池两极相连,当电容器的 d、s、ε 变化时,其特点是:

两极板间电压 U 不变,$C=\frac{\varepsilon s}{4\pi kd}\propto\frac{\varepsilon s}{d}$

$$Q=CU=\frac{\varepsilon sU}{4\pi kd}\propto\frac{\varepsilon s}{d},E=\frac{U}{d}\propto\frac{1}{d}$$

(2)平行板电容器充电后,切断与电池的连接,当电容器的 d、s、ε 变化时,其特点是:

电容器的带电量 Q 不变,$C=\frac{\varepsilon s}{4\pi kd}\propto\frac{\varepsilon s}{d}$,

$$U=\frac{Q}{C}=\frac{4\pi kdQ}{\varepsilon s}\propto\frac{d}{\varepsilon s}$$

$$E=\frac{U}{d}=\frac{Q}{Cd}=\frac{4\pi kQ}{\varepsilon s}\propto\frac{1}{\varepsilon s}$$

例4 如图4所示,A、B 为一对平行金属板,充电后与电源断开,负极接地,在两极板间有一正电荷,电荷量足够小,固定在 p 点,如图4所示,以 E 表示两极板间的场强,U 表示电容器的电压,ε 表示正电荷在 p 点的电势能,若保持负极板不动,将正极板移到图中虚线位置,则(　　)

A. U 变小,ε 不变

B. E 变大,ε 变大

C. U 变大,ε 不变

D. U 不变,ε 不变

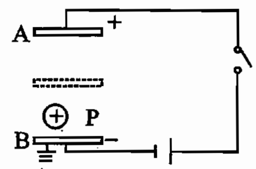


图4

【巧解】 因电容器充电后与电源断开,显然电容器的电量不会发生变化,由 $C=\frac{\varepsilon s}{4\pi kd}$,$C=\frac{Q}{U}$ 及 $E=\frac{U}{d}$,

所以 $E=\frac{Q\cdot 4\pi kQ}{\varepsilon s}$,$E$ 与 d 无关,E 不变.

当正极板 A 下移时,d 减小,但 p 到负极板 B 的距离 d' 不变,据 $U=\frac{Q}{C}$ 知,$U=\frac{4\pi kd}{\varepsilon s}$,$U$ 将变小;

$\varphi_p=U_{pB}=E\cdot d'$ 不变,故 $\varepsilon=\varphi_p q$ 不变.

【答案】 A

五、利用带电粒子在电场中不同状态解决带电粒子在电场中的运动

带电粒子在电场中的运动状态主要有三种:平衡、变速直线运动、偏转——类平抛运动. 解决这类问题,一是由电场知识结合静力学知识,运动学规律和牛顿运动定律求解;一是从能量角度求解. 有时从能量角度考虑会更方便一些. 常见的带电粒子有:电子、质子、α 粒子、离子等. 因这些粒子的重力较电场力小得多,常常忽略不计;另一类粒子,像带电微粒、油滴、尘埃等,因重力较大,常不可忽略.

(1)平衡

带电粒子在电场中处于静止状态,设匀强电场的两极板间电压为 U,板间距离为 d.

则 $mg=qE$,$q=\frac{mg}{E}=\frac{mgd}{U}$

(2)带电粒子的加速(仅受电场力作用时)

运动状态分析:带电粒子沿与电场线平行的方向进入匀强电场,受到的电场力与运动方向在同一直线上,做匀加(减)速直线运动.

用功能观点分析:粒子动能的变化量等于电场力做的功(电场可以是匀强电场,也可以是非匀强电场)

若粒子初速为零,则 $\frac{1}{2}mv^2=qU$

若粒子初速度为 v_0,则

$$\frac{1}{2}mv^2-\frac{1}{2}mv_0^2=qU,v=\sqrt{v_0^2+\frac{2qU}{m}}$$

(3)带电粒子的偏转(限于匀强电场)

运动状态分析:带电粒子以速度 v_0 垂直于电场线方向飞入匀强电场时,受到恒定的与初速度方向成90°角的电场力作用而

作匀变速曲线运动,处理方法与平抛运动的分析处理方法相同.应用运动的合成与分解的知识方法:

沿初速度方向为匀速直线运动:$l=v_0t$

沿电场力方向为初速度为零的匀加速直线运动:

$a=\frac{qE}{m}=\frac{qU}{md}$

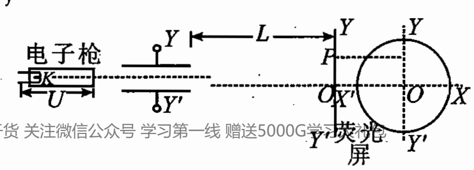
离开电场时偏移量 $y=\frac{1}{2}at^2=\frac{ql^2U}{2mv_0^2d}$

离开电场时偏转角 φ:$\tan\varphi=\frac{v_y}{v_0}=\frac{qlU}{mv_0^2d}$

例5 示波管的主要结构由电子枪、偏转电极和荧光屏组成.在电子枪中,电子由阴极 K 发射出来后经加速电场加速,然后通过两对相互垂直的偏转电极形成的电场,发生偏转.其示意图如图5(图中只给出一对 YY' 方向偏转的电极)所示.已知:电子质量为 m,电量为 e,两个偏转电极间的距离为 d,偏转电极边缘到荧光屏的距离为 L,没有加偏转电压时,电子从阴极射出后,沿中心线打到荧光屏上的 O 点时动能为 E_0.设电子从阴极发射出来时的初速度可以忽略,偏转电场只存在于两个偏转电极之间.求:

(1)电子枪中的加速电压 U 是多少?

(2)如果 YY' 方向的偏转电极加的偏转电压是 U_y,电子打到荧光屏上 P 点时的动能为 E_t,求电子离开偏转电场时,距中心线的距离 S_y.



更多资料干货 关注微信公众号 学习第一线 赠送5000G学习资料

图5

【巧解】 (1)由动能定理可求出电子由阴极发射出来,经电场加速,通过偏转的电场的初速度为 v_0.

即 $eU=\frac{1}{2}mv_0^2$,由题意知:$E_0=\frac{1}{2}mv_0^2$.

解出电子枪中的加速电压 $U=\frac{E_0}{e}$

(2)电子在偏转电场中的运动轨迹为抛物线,电子在平行极板方向做匀速运动,有 $v_x=v_0$

电子在垂直极板方向做匀加速运动,设电子离开偏转电场时,此方向位移为 S_y

根据动能定理,电子在偏转电场中运动,电场力做功为 W.有 $W=E_t-E_0$,且 $W=qES_y=e\frac{U_y}{d}S_y$

故电子离开偏转电场时,距中心线的距离为 $S_y=\frac{(E_t-E_0)d}{eU_y}$

【答案】 (1)$U=\frac{E_0}{e}$ (2)$S_y=\frac{(E_t-E_0)d}{eU_y}$

六、巧转换,速求电场强度

根据静电平衡状态下导体的的特点,将求解感应电荷在导体内某点的场强问题转换为求解场源电荷在该点的场强问题.根据电场线与等势线垂直,求电场强度要先转化为找电场线,确定电场方向,再利用 $E=U/d$ 求解其值.

例6 长为 L 的导体棒原来不带电,现将一带电量为 $+q$ 的点电荷放在距棒的左端 R 处.如图6,当导体棒达到静电平衡后,棒上感应电荷在棒内中点处产生的场强大小等于多少,方向如何?

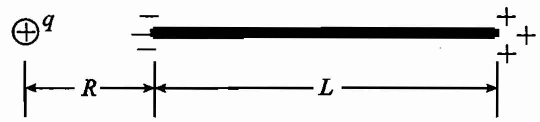


图6

【巧解】 原来不带电的导体棒处于 $+q$ 周围后,由于静电感应,其左端带负电,右端带正电,当导体棒达到静电平衡时,由感应电荷和 $+q$ 在导体内部产生的合场强为零.先求出 $+q$ 的场强 $E_1=\frac{kq}{(R+l/2)^2}$,方向水平向右,则感应电荷产生的场强大小为 $E_2=E_1=\frac{kq}{(R+l/2)^2}$,方向水平向左.

例7 如图7,一带 $+Q$ 电量的点电荷 A,与一块接地的长金属板 MN 组成一系统,点电荷 A 与板 MN 间的垂直距离为 d,试求 A 与板 MN 的连线中点 C 处的电场强度.

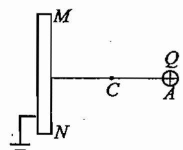


图7

【巧解】 由于金属板 MN 接地的电势为零,等效联想,如图8所示的由两个等量异种电荷组成的系统,A、B 的中垂线上恰是一电势为零的等势面,利用这样的等效替代的方法,很容易求出 C 点的电场强度.

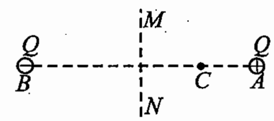


图8

$E_C=E_{CA}+E_{CB}=40kQ/9d^2$ 方向由 A 指向 B.

七、巧用"口诀",处理带电平衡问题

已知两个带电体在同一直线上,若引进第三个带电体,要求三个带电体都处于平衡状态,则有结论:"正负电荷交叉放,要向电量小的靠".这样计算就会变得简洁得多.

例8 已知点电荷 $q_1=+Q$,$q_2=-9Q$,放置在光滑的绝缘的水平面上,相距 R,为了使这两个点电荷处于平衡状态,今引进第三个点电荷 q_3,则对 q_3 的电性和电量有什么要求?应放在什么位置?

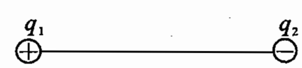


图9

【巧解】 根据口诀可知,第三个电荷应放在 q_1 的左边,且带负电,设其距 q_1 的距离为 x,由受力平衡:

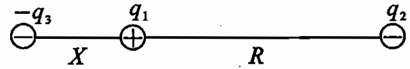


图10

对 q_3 有:$\frac{kq_3Q}{x^2}=\frac{9kq_3Q}{(R+x)^2}$ ①

对 Q 有:$\frac{kq_3Q}{x^2}=\frac{9kQ^2}{R^2}$ ②

由以上两式得：$q_3 = 9Q/4$，$x = R/2$.

例 9　点电荷 A 和 B，分别带正电和负电，电量分别为 $4Q$ 和 Q，在 AB 连线上，如图 11 所示，则电场强度为零的地方在(　　)

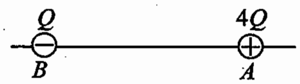


图 11

A. A 和 B 之间　　B. A 右侧

C. B 左侧　　D. A 的右侧及 B 的左侧

【巧解】　要找场强为零的点，可以假想放入一个点电荷，此点电荷在该点所受的电场力为零，则该点的场强必为零. 因为 A 带正电，B 带负电，根据“正负电荷交叉放，要向电量小的靠”，立即可知该点在 B 的左侧.

八、巧用等效法处理复合场问题

当一个问题中同时出现重力场、电场等几个不同的场时，可以用一个等效场来代替.

例 10　如图 12，用长为 L 的细线悬挂质量为 m、带电量为 $+q$ 的小球，置于水平向右的匀强电场中，匀强电场的场强为 E，先将小球固定于悬线竖直向下的位置 A，然后放开小球，已知电场力的大小小于重力，求悬线受到的最大拉力.

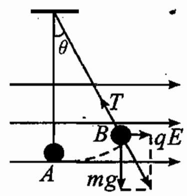


图 12

【巧解】　小球释放后，在电场和重力场中运动. 若把两者合成，则等效复合场方向沿重力与电场力合力方向，设此方向与竖直方向的夹角为 θ，则等效重力为：$mg/\cos\theta$. 此时对应的 B 点即为小球的平衡位置，小球在 B 点时，悬线受到的拉力最大.

在 B 处有：$T - mg/\cos\theta = mv^2/L$

更多资料干货 关注微信公众号 学习第一线 赠送5000G学习大礼包

又此时“等效势能”减少了：$mgL(1-\cos\theta)/\cos\theta$；

因此有：$mv^2/2 = mgL(1-\cos\theta)/\cos\theta$；

求出角度代入上两式即可得：$T = 3\sqrt{(mg)^2+(qE)^2} - 2mg$

九、巧用图象法处理带电粒子在交变电场中运动问题

带电粒子在交变电场中运动是静电场中一类典型问题，也是高考中的热点，其解题方法较多，其中较为简便的方法是图解法.

例 11　如图 13(甲)，A、B 是一对平行的金属板，在两板间加上一周期为 T 的交变电压 U，A 板的电势 $U_A = 0$，B 板的电势 U_B 随时间的变化规律如图 13(乙)，现有一个电子从 A 板上的小孔进入两板间的电场区域内，设电子的初速度和重力的影响均可忽略.(　　)

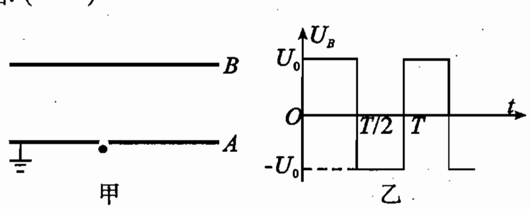


图 13

A、若电子是在 $t=0$ 时刻进入的，它将一直向 B 板运动；

B、若电子是在 $t=T/8$ 时刻进入的，它可能时而向 B 板运动，时而向 A 运动，最后打在 B 板上；

C、若电子是在 $t=3T/8$ 时刻进入的，它可能时而向 B 板运动，时而向 A 运动，最后打在 B 板上；

D、若电子是在 $t=T/2$ 时刻进入的，它可能时而向 B 板运动，时而向 A 运动.

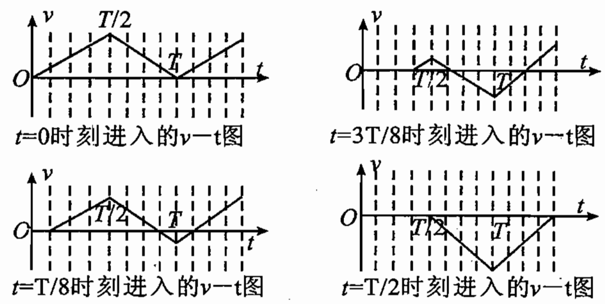


图 14

【巧解】　带电粒子在交变电场中的运动情况一般较复杂，由于不同时间段受力不同，加速度就不同，运动情况也不相同，若按常规的分析方法，将会很烦琐. 较好的分析方法是画出带电粒子在电场中的速度－时间图象帮助分析. 画图时，注意 $v-t$ 图中加速度相同的运动一定是平行的直线，图线与 t 轴所夹面积表示位移，图线与 t 轴有交点，表示此时速度反向. 电子在不同时刻从 A 板进入电场由静止开始的运动情况如图 14 所示，从图中可直接看出正确答案为 A、B.

电子在交变电场中偏转时，若偏转电压为正、余弦交变电压时，一束电子在不同时刻的偏转电压不同，若 $t = \dfrac{L}{v_0} \gg T$，将电子进入时刻电压视为恒定偏转电压. 所以此类问题首先要分析 L/v. 与交变电压周期是否满足 $t \ll T$. 如果此条件能够得到满足，则分析方法与此例相同.

【答案】　AB

◀ 活 题 巧 解 ▶

例 1　用三个完全一样的金属小球 A、B、C，A 带电荷量 $7Q$，B 带电荷量 $-Q$，C 不带电. 将 A、B 固定起来，然后让 C 球反复与 A、B 球接触，最后移去 C 球. 试问 A、B 间的相互作用力变为原来的多少倍?

【巧解】　守恒法

当两个完全相同的带电导体球接触后再分开，它们的带电荷量相同，均为接触前两球电荷量代数和的一半. 而本题的关键点在于 C 反复与 A、B 球接触，它表明最终三个小球将带上相同电荷量.

即 A、B、C 三球最终带电荷量均为 $\dfrac{7Q+(-Q)}{3} = 2Q$.

根据库仑定律，A、B 两球间原先的相互作用力大小 $F = k\dfrac{Q_1Q_2}{r^2} = k\dfrac{7Q \cdot Q}{r^2} = 7k\dfrac{Q^2}{r^2}$.

A、B 两球间后来的相互作用力大小为

$F' = k\dfrac{2Q \cdot 2Q}{r^2} = 4k\dfrac{Q^2}{r^2}$.

即 $F'=\frac{4}{7}F$,A、B 间的相互作用力变为原来的$\frac{4}{7}$.

例2 如图15所示,将一带电小球 A 用绝缘棒固定在水平地面上,在距小球正上方高为 l 的悬点 O 处,通过长也为 l 的绝缘细线悬吊一个与球 A 带同种电荷的小球 B,当小球 B 处于平衡时,悬线与竖直方向成某一夹角 θ. 现设法逐渐增大球 A 的电量,则悬线 OB 对小球 B 的拉力 T 大小将(　　)

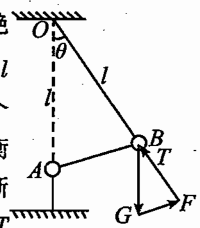


图 15

A. 变大　　B. 变小

C. 不变　　D. 不能确定

【巧解】 相似三角形法

小球 B 受重力 G,悬线拉力 T、库仑力 F 作用而平衡,三力首尾相连构成一封闭的矢量三角形,根据矢量三角形和几何三角形相似,对应边成比例,有$\frac{OA}{G}=\frac{OB}{T}$,又 $OA=OB=l$,则 $T=G$,故逐渐增大球 A 的电量,θ 角变大,但悬线 OB 对小球 B 的拉力 T 大小将不变,选答案 C.

例3 如图16所示,用长为 l 的金属丝弯成半径为 r 的圆弧,但在 A、B 之间留有宽度为 d 的间隙,且 $d\ll r$,将电量为 Q 的正电荷均匀分布于金属丝上,求圆心处的电场强度.

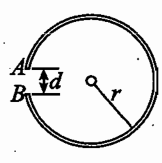


图 16

【巧解】 补偿法

中学物理只讲到有关点电荷场强的计算公式和匀强电场场强的计算方法,本问题是求一个不规则带电体所产生的场强,没有现成公式直接可用,需变换思维角度. 假设

更多资料干货 关注微信公众号 学习第一线 赠送5000G学习大礼包

将这个圆环缺口补上,并且已补缺部分的电荷密度与原有缺口的环体上的电荷密度一样,这样就形成一个电荷均匀分布的完整带电环,环上处于同一直径两端的微小部分所带电荷可视为两个相对应的点电荷,它们在圆心 O 处产生的电场叠加后合场强为零. 根据对称性可知,带电圆环在圆心 O 处的总场强 $E=0$. 至于补上的带电小段,由题给条件可视做点电荷,它在圆心 O 处的场强 E_1 是可求的. 若题中待求场强为 E_2,则 $E_1+E_2=0$. 设原缺口环所带电荷的线密度为 σ,$\sigma=Q/(2\pi r-d)$,则补上的那一小段金属线的带电量 $Q'=\sigma\cdot d$,Q' 在 O 处的场强为 $E_1=kQ'/r^2$,由 $E_1+E_2=0$ 可得

$$E_2=-E_1,$$

负号表示 E_1 与 E_2 反向,背向圆心向左.

例4 如图17所示,一带 $+Q$ 电量的点电荷 A,与一块接地的长金属板 MN 组成一系统,点电荷 A 与板 MN 间的垂直距离为 d,试求 A 与板 MN 的连线中点 C 处的电场强度.

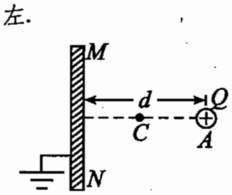


图 17

【巧解】 模型法

此题初看十分棘手,如果再画出金属板 MN 被点电荷 A 所感应而产生的负电荷(于板的右表面),则更是走进死胡同无法解决. 那么此题能否用中学所学的知识灵活地迁移而分析解决呢? 当然可以,由金属长板 MN 接地的零电势条件,等效联想图18所示的由两个等量异种电荷组成的系统的静电场的分布状况,这样的点电荷系统所形成的合电场的分布状况并不陌生,A、B 两点电荷连线的垂直平分面 $M'N'$,恰是一电势为零的等势面,利用这样的等效替代的方法,很容易求出 C 点的电场强度. 根据点电荷场强式

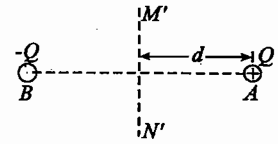


图 18

$$E=kQ/r^2,$$

点电荷 A 在 C 点形成的电场

$$E_{CA}=kQ/(d/2)^2,$$

点电荷 B 在 C 点形成的电场

$$E_{CB}=kQ/(3d/2)^2,$$

因 E_{CA} 与 E_{CB} 同方向,均从 A 指向 B,故而 $E_C=E_{CA}+E_{CB}=k\frac{40Q}{9d^2}$

例5 如图19A所示,$\varepsilon_1=3\text{V}$,$r_1=0.5\Omega$,$R_1=R_2=5.5\Omega$,平行板电容器的两板距离 $d=1\text{cm}$,当电键 K 接通时极板中的一个质量 $m=4\times10^{-3}g$,电量为 $q=1.0\times10^{-7}C$ 的带电微粒恰好处于静止状态.

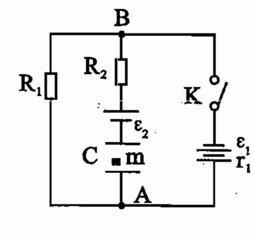


图 19A

求:(1)K 断开后,微粒向什么方向运动,加速度多大?

(2)若电容为 $1000pF$,K 断开后,有多少电量的电子从 R_2 由下至上流过.

【巧解】 临界条件法　推理法　代数法

(1)当 K 接通电路稳定时,等效电路图如图19B 所示. ε_1、r_1 和 R_1 形成闭合回路,A,B 两点间的电压为:

$$U_{AB}=\varepsilon_1-Ir=\varepsilon_1-\frac{\varepsilon_1}{R_1+r_1}=3-\frac{3}{5.5+0.5}\times0.5=2.75(\text{V})$$

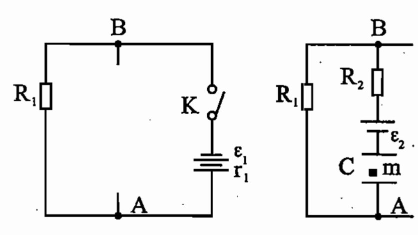


图 19B

电容器中带电粒子处于平衡状态,则所受合力为零,$F-mg=0$,

$$mg=qE=\frac{qU}{d}$$

$$U=\frac{mgd}{q}=\frac{4\times10^{-6}\times10\times10^{-2}}{1\times10^{-7}}=4\text{V}$$

在 B 到 A 支路中没有电流,R_2 两端等势将其简化,$U-\varepsilon_2=U_{AB}$,$\varepsilon_2=U-U_{AB}=1.25\text{V}$.

当 K 断开电路再次达到稳定后,回路中无电流,电容器两端电压 $U'=\varepsilon_2=1.25\text{V}$

$$a=\frac{F'-mg}{m}=\frac{\frac{qU}{d}-mg}{m}$$

$$=\frac{\frac{1\times10^{-7}\times1.25}{1\times10^{-2}}-4\times10^{-6}\times10}{4\times10^{-6}}=-6.875\text{m/s}^2$$

即带电粒子将以 6.875m/s^2 的加速度向下做匀加速运动.

(2)K 接通时,电容器带电量为 $Q=CU=4\times10^{-9}C$

K 断开时,电容器带电量为 $Q'=CU'=1.25\times10^{-9}C$

$\triangle Q=Q-Q'=2.75\times10^{-9}C$

有总量为 $2.75\times10^{-9}C$ 的电子从 R_2 由下至上流过.

例6　如图20所示,在方向竖直向下的匀强电场中,一个带负电 q、质量为 m 且重力大于所受电场力的小球,从光滑的斜面轨道的点 A 由静止下滑,若小球恰能通过半径为 R 的竖直圆形轨道的最高点 B 而做圆周运动,问点 A 的高度 h 至少应为多少?

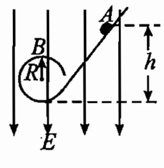


图20

【巧解】 极值法

带电小球在圆轨道最高点 B 受到三个力作用:电场力 $F_电=qE$,方向竖直向上;重力 mg;方向竖直向下,轨道弹力 N. 在 B 点由向心力公式有　$N+mg-qE=m\frac{v_B^2}{R}$,

要使小球恰能通过圆轨道最高点 B 而做圆周运动,说明小球此时处于临界状态,其速率 v_B 为临界速率,临界条件是 $N=0$,可列出小球的临界状态方程为 $mg-qE=m\frac{v_B^2}{R}$,

又根据动能定理,有 $(mg-qE)\cdot(h-2R)=\frac{1}{2}mv_B^2$

解之得　$h_{min}=\frac{5}{2}R$

例7　如图21,O 是一固定的点电荷,另一点电荷 P 从很远处以初速度 v_0 射入点电荷 O 的电场,在电场力作用下的运动轨迹是曲线 MN. a、b、c 是以 O 为中心,R_a、R_b、R_c 为半径画出的三个圆,$R_c-R_b=R_b-R_a$. 1、2、3、4 为轨迹 MN 与三个圆的一些交点,以 $|W_{12}|$ 表示点电荷 P 由 1 到 2 的过程中电场力做的功的大小. $|W_{34}|$ 表示由 3 到 4 的过程中电场力做的功的大小,则(　　)

A. $|W_{12}|=2|W_{34}|$

B. $|W_{12}|>2|W_{34}|$

C. P、O 两电荷可能同号,也可能异号

D. P 的初速度方向延长线与 O 之间的距离可能为零

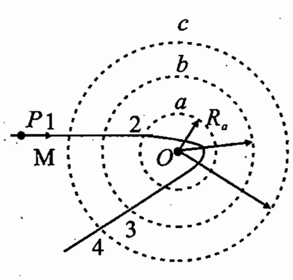


图21

【巧解】 推理法　对称法

因 $|U_{34}|<|U_{23}|$,而 $W=qU$,故选 B

【答案】 B

例8　如图22所示,在矩形 $ABCD$ 的 AD 边和 BC 边的中点 M 和 N 各放一个点电荷,它们分别带等量的正、负电荷. E、F 是 AB 边和 CD 边的中点,P、Q 两点在 MN 的连线上,$MP=NQ$. 则电场强度和电势都相同的两点是(　　)

A. E 和 F　　B. P 和 Q

C. A 和 B　　D. C 和 D

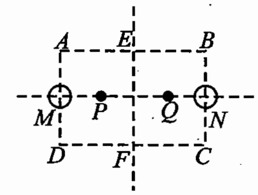


图22

【巧解】 对称法

E 和 F 两点电场强度和电势都相同;P 和 Q 电场强度相同,但 P 点电势高于 Q 点电势;A 和 B、C 和 D 电场强度和电势都不相同,所以本题选项 A 正确.

例9　如图23所示,A、B、C、D、E 是半径为 r 的圆周上等间距的五个点,在这些点上各固定一个点电荷,除 A 点处的电量为 $-q$ 外,其余各点处的电量均为 $+q$. 求:圆心 O 处的场强大小和方向.

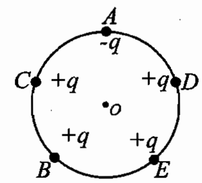


图23

【巧解】 对称法

假定在 A 处也放一个 $+q$ 的点电荷,且在圆心 O 处放一个 $+Q$ 的点电荷,由于五个 $+q$ 的点电荷对 O 点完全对称,因此 O 处的点电荷 $+Q$ 不可能朝某一方向运动,即它受到的库仑力必平衡,这表明五个 $+q$ 的点电荷在 O 处产生的合场强必为零. 题设中 A 处的 $-q$ 电荷可以等效为 $+q$ 和 $-2q$ 两个点电荷,依据上述分析,O 处的合场强等于 $-2q$ 这个点电荷在 O 处产生的场强,即 $E=k\frac{2q}{r^2}$,其方向沿 OA 方向.

例10　是否存在如图24甲所示的电场线,即电场线相互平行,但间距不等?

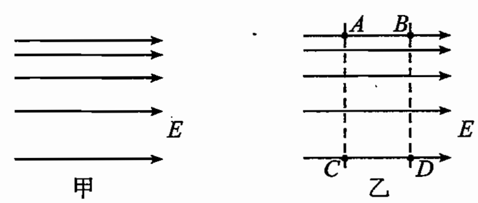


图24

【巧解】 假设法

如果存在这样的电场,根据等势面的特点,它的两个等势面 AC、BD 应该如图乙所示,应该有 $U_{AB}=U_{CD}$. 但从图中明显地可以看出,A、B 两点间的距离 S_{AB} 等于 C、D 两点间的距离 S_{CD},A、B 点间的场强大于 C、D 间的场强. 根据公式 $U=Ed$,可得 $U_{AB}>U_{CD}$,与 $U_{AB}=U_{CD}$ 相互矛盾,所以电场线相互平行,但间距不等的电场线是不存在的.

例11　如图25所示,在一个方向水平的匀强电场中,用长为 l 的细线悬挂一个质量为 m 的带电小球,且静止时,悬线向右偏离竖直方向 θ 角,如果向左将悬线拉至水平位置,然后无初速释放,则小球通过最低点 A 时的速度大小为(　　)

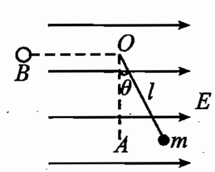


图25

A. $\sqrt{2gl(1+\cot\theta)}$　　B. $\sqrt{2gl}$

C. $\sqrt{2gl(1+\sin2\theta-\tan\theta)}$　　D. 0

【巧解】 特值法

当 $\theta=45°$，小球沿 BA 连线运动，$mg=qE$，$F_{合}=\sqrt{2}mg$，$S=\sqrt{2}L$，由 $\sqrt{2}mg\times\sqrt{2}l=\frac{1}{2}mv^2$ 得，$v=\sqrt{4gL}$，所以应选答案 A.

例 12 两块平行金属板带等量异种电荷，要使两板间电压加倍，而板间的电场强度减半，采用的办法有（ ）

A. 两板的电量加倍，而距离变为原来的 4 倍；

B. 两板的电量加倍，而距离变为原来的 2 倍；

C. 两板的电量减半，而距离变为原来的 4 倍；

D. 两板的电量减半，而距离变为原来的 2 倍.

【巧解】 比例法

根据平行板电场的场强、电压和电量的关系

$$E=\frac{U}{d}=\frac{Q/C}{d}=\frac{4\pi kQ}{\varepsilon s}\propto Q$$

$$U=Ed=\frac{4\pi kQ}{\varepsilon s}d\propto Qd$$

可见，为了使 E 减半，可以使 Q 减半；而在 Q 减半的条件下，为了使 U 加倍，d 必须变为原来的 4 倍. 所以，应选答案 C.

例 13 如图 26 的方框中为一匀强电场，A、B、C 三点为电场的三点，电势分别为 $\varphi_A=24V$，$\varphi_B=12V$，$\varphi_C=-24V$，试用作图法作出该电场的电场线.

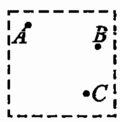


图 26

【巧解】 等分法

在图示的匀强电场中沿 AB 方向和沿 AC 方向电势都是均匀降低的，因 $\varphi_A=24V$，$\varphi_C=-24V$，则 AC 连线的中点 O 的电势必为零，而 AO 的中心点 O' 的电势一定等于 $12V$，即 O' 和 B 在同一等势面上，连接 BO' 即为该匀强电场中的一条等势线. 根据电场线与等势面垂直可画出电场的电场线，如图 27 所示. 作图步骤如下：

更多资料干货 关注微信公众号 学习第一线 赠送5000G学习大礼包

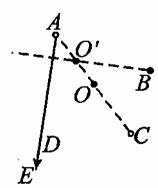


图 27

（1）连接 AC，作出 AC 的中心点 O

（2）再作出 AO 的中心点 O'

（3）连 $O'B$，并沿 BO' 延长

（4）过 A 点作直线 $O'B$ 的垂线 AD，场强 E 的方向由 $A\longrightarrow D$

例 14 如图 28 所示，用三根长度均为 L 的细线，将两个质量均为 m，并带有等量异种电荷 q 的小球连接，悬挂在水平向右的匀强电场中，当系统静止时，三段线均处于张紧状态. 试求：

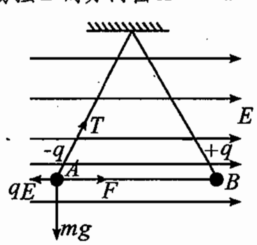


图 28

（1）匀强电场的场强 E 的取值范围；

（2）若将右侧细线剪断，当系统重新平衡时，各段线的张力又是多少？

【巧解】 临界条件法

（1）以左端小球为研究对象，当水平细线张力为零时，小球在四个力的作用下平衡. 根据平衡条件

$$\sum F_x=0:qE_0=T\cos60°+K\frac{q^2}{L^2}$$

$$\sum F_y=0:T\sin60°=mg$$

则场强的临界值为 $E_0=K\frac{q}{L^2}+\frac{\sqrt{3}mg}{3q}$

所以，匀强电场的场强的取值范围为 $E\geqslant E_0$，即 $E\geqslant K\frac{q}{L^2}+\frac{\sqrt{3}mg}{3q}$

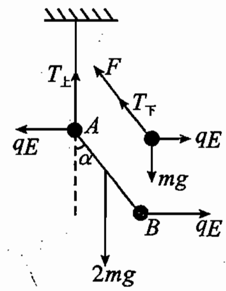


图 29

（2）当重新平衡时，两球与连线在空间的位置如图 29 所示，以系统为研究对象，根据平衡条件 $\sum F_y=0$，张力为 $T_上=2mg$

以下面的球为研究对象，将 $(T_下+F)$ 视为一个力，根据三力平衡条件有，$T_下+K\frac{q^2}{L^2}=\sqrt{(qE)^2+(mg)^2}$，所以连线的张力为

$$T_下=\sqrt{(qE)^2+(mg)^2}-K\frac{q^2}{L^2}$$

且连线与竖直方向的夹角 $\alpha=\arctan\frac{qE}{mg}$

例 15 如图 30 所示，一条长为 l 的细线，上端固定，下端拴一个质量为 m 的带电小球，置于方向水平、大小为 E 的匀强电场中，已知当细线离开竖直位置为 α 角时，小球处于平衡状态.

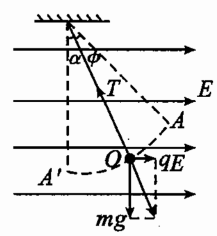


图 30

（1）小球带何种电荷？带电量是多少？

（2）如果使细线的偏角由 α 增大到 φ，然后将小球由静止开始释放，则 φ 角为多大时，才能使细线到达竖直位置时小球的速度刚好为零？

【巧解】 对称法

小球在三个共点力作用下处于平衡状态，因为电场力 $F=qE$ 的方向与 E 的方向一致，所以小球带正电，根据三力平衡特点，有 $\tan\alpha=\frac{qE}{mg}$，所以，小球带电量为 $q=\frac{mg}{E}\tan\alpha$

小球由 A 点静止释放后，将以 O 为平衡位置振动，根据振动的对称性，小球在速度为零的位置 A 和 A' 时，偏离平衡位置的角度相等，所以 $\varphi=2\alpha$.

例 16 如图 31 所示，一个摆长为 l，摆球质量为 m 的单摆，带有电量为 q 的正电荷，悬挂于方向水平向右、大小为 E 的匀强电场中，求单摆作简谐振动的周期.

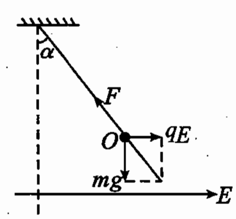


图 31

【巧解】 模型法

当摆球在重力（mg）、电场力（qE）和摆线拉力（F）的作用下静止时，将向右偏离竖直方向，根据三力平衡条件和三角函数关系，这时摆线的拉力为

$F=\sqrt{(mg)^2+(qE)^2}$

视重力加速度为 $g'=\frac{F}{m}=\frac{\sqrt{(mg)^2+(qE)^2}}{m}$

所以单摆的周期为 $T'=2\pi\sqrt{\frac{ml}{\sqrt{(mg)^2+(qE)^2}}}$

例 17　如图 32 在光滑水平面上固定三个等质量的带电小球(均可视为质点),A、B、C 三球排成一直线,若释放 A 球(另两球仍固定)的瞬时,A 球的加速度大小为 $1m/s^2$,方向向左;若释放 C 球(另两球仍固定)的瞬时,C 球的加速度大小为 $2m/s^2$,方向向右;则释放 B 球的瞬时,B 球的加速度大小为________m/s^2,方向向________.

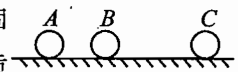


图 32

【巧解】　整体法

依题意,分别释放三球中的某一小球与同时释放三球相比较,相应球所产生的初始加速度是相同的. 若同时释放三球,对整个系统而言,所受的合外力为零,则在释放的瞬间,以向右为正方向,由牛顿第二定律可知

$F=ma_A+ma_B+ma_C,F=0$

即 $a_B=-(a_A+a_C)=-[(-1+2)]$

$=-1m/s^2$

这说明只释放 B 球其加速度大小为 $1m/s^2$,方向向左.

例 18　(对物体运动过程而言)一个质量为 m,电量为 $-q$ 的小物体,可在水平轨道 Ox 上运动,O 端有一与轨道垂直的固定墙,轨道处于匀强电场中,场强大小为 E,方向沿 Ox 轴的正方向,如图 33 所示,小物体以初速度 v_0 从距 O 点 x_0 处沿 Ox 轨道运动,运动时受到大小不变的摩擦力 f 作用,且 $f<qE$,设小物体与墙碰撞时无机械能损失,且电荷量保持不变,求它在停止运动前所通过的总路程 s.

更多资料干货 关注微信公众号 学习第一线 赠送5000G学习大礼包

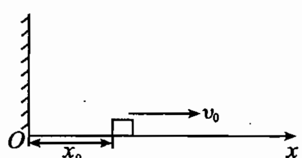


图 33

【巧解】　整体法

开始时,设物体从 x_0 点,以速度 v_0 向右运动,它在水平方向受电场力 qE 和摩擦力 f,方向均向左,因此物体向右做匀减速直线运动,直到速度为零;而后,物体受向左的电场力和向右的摩擦力作用,因为 $qE>f$,所以物体向左做初速度为零的匀加速直线运动,直到以一定速度与墙壁碰撞,碰后物体的速度与碰前速度大小相等,方向相反,然后物体将多次的往复运动.

但由于摩擦力总是做负功,物体机械能不断损失,所以物体通过同一位置时的速度将不断减小,直到最后停止运动. 物体停止时,所受合外力必定为零,因此物体只能停在 O 点.

对于这样幅度不断减小的往复运动,研究其全过程,电场力的功只跟始末位置有关,而跟路径无关,因此用全程整体法求解比较简捷.

根据动能定理得

$qE\cdot x_0-fs=0-\frac{1}{2}mv_0^2$,解得 $S=\frac{mv_0^2+2qEx_0}{2f}$

【答案】　$s=\frac{mv_0^2+2qEx_0}{2f}$

例 19　一个带负电的小球质量为 m,带电量为 q,在一个如图 34 所示的平行板电容器的右侧边被竖直上抛,最后落在电容器左侧边缘同一高度处,两板间距为 d,板间电压为 U,求电荷能达到的最大高度 H 及抛出时的初速度 v_0.

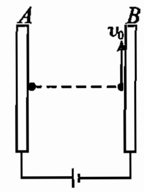


图 34

【巧解】　分解法

由题设条件可知:小球在复合场中做抛体运动,其轨迹为抛物线,可将其运动分解为水平方向的匀加速直线运动和竖直方向的竖直上抛运动.

由竖直上抛运动规律得:小球上升的最大高度 $H=\frac{v_0^2}{2g}$,小球自抛出至回到左侧板边缘同一高度处所需时间 $t=\frac{2v_0}{g}$.

根据小球在水平方向的运动规律可得

$d=\frac{1}{2}\times\frac{qU}{md}\cdot t^2$

联立解得 $v_0=gd\sqrt{\frac{m}{2qU}}$

例 20　一束电子流在经 $U=5000V$ 的加速电压加速后,在距两极板等距处垂直进入平行板间的匀强电场,如图 35 所示,若两板间距 $d=1.0cm$,板长 $l=5.0cm$,那么,要使电子能从平行板间飞出,两个极板上最多能加多大电压?

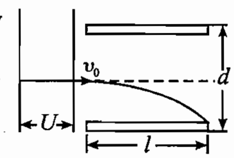


图 35

【巧解】　临界条件法

在加速电压一定时,偏转电压 U' 越大,电子在极板间的偏距就越大. 当偏转电压大到使电子刚好擦着极板的边缘飞出,此时的偏转电压即为题目要求的最大电压.

电子在加速过程,由动能定理得 $eU=\frac{1}{2}mv_0^2$　①

进入偏转电场,电子在平行于板面的方向上做匀速运动

$l=v_0t$　②

电子在垂直于板面的方向做匀加速直线运动,加速度

$a=\frac{F}{m}=\frac{eU'}{dm}$　③

偏转距离 $y=\frac{1}{2}at^2$　④

电子能飞出的条件为 $y\leqslant\frac{d}{2}$　⑤

解①~⑤式得

$U'\leqslant\frac{2Ud^2}{l^2}=\frac{2\times5000\times(1.0\times10^{-2})^2}{(5.0\times10^{-2})^2}V=4.0\times10^2V$

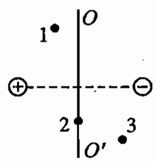
即要使电子能飞出,所加电压最大为 400V.

第十二章 电场 直流电路综合测试

一、选择题(4 分×12 =48 分)

1. 在静电场中,将一电子从 A 点移到 B 点,电场力做了正功,则( )
   A. 电场强度的方向一定是由 A 点指向 B 点
   B. 电场强度的方向一定是由 B 点指向 A 点
   C. 电子在 A 点的电势能一定比在 B 点高
   D. 电子在 B 点的电势能一定比在 A 点高

2. 如图所示,两等量异种电荷在真空中相隔一定距离,OO'表示两点电荷连线的中垂面,在两点电荷所在的竖直平面上取图示的 1、2、3 三点,其电势分别为 U_1、U_2、U_3,则( )

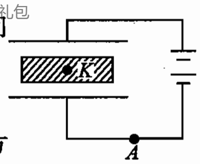


   A. $U_3>U_2>U_1$ B. $U_2>U_1>U_3$
   C. $U_2>U_3>U_1$ D. $U_1>U_2>U_3$

3. 若带正电荷的小球只受到电场力作用,则它在任意一段时间内( )
   A. 一定沿电场线由高电势处向低电势处运动
   B. 一定沿电场线由低电势处向高电势处运动
   C. 不一定沿电场线运动,但一定由高电势处向低电势处运动
   D. 不一定沿电场线运动,也不一定由高电势处向低电势处运动

更多资料干货 关注微信公众号 学习第一线 赠送5000G学习大礼包

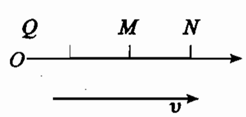
4. 如图,平行板电容器与电源相连,两极间有一电介质,则( )



   A. 电介质内 K 点的电场强度为零
   B. 电介质内 K 点的电场强度不为零,方向向上
   C. 若将电介质自两金属板间抽出,则抽出过程中 A 点处有方向向左的电流
   D. 抽出电介质前后,两金属板间的电势差相等

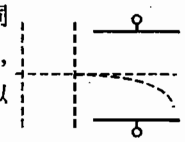
5. 在场强为 $E=2\times10^2$ V/m 的匀强电场中,有相距 $d=1\times10^{-2}$ m 的 a、b 两点,现将一带电量 $q=3\times10^{-10}$ C 的检验电荷由 a 点移至 b 点,该电荷的电势能变化量可能是( )
   A. 6×10^{-14} J B. 6×10^{-12} J
   C. 6×10^{-10} J D. 6×10^{-8} J

6. 如图所示,一个正检验电荷 q 在正点电荷 Q 的电场中,沿着某一条电场线向右运动,已知它经过 M 点的加速度是经过 N 点时加速度的 2 倍,则( )



   A. 它经过 M 点时的速度是经过 N 点时的 2 倍
   B. 它经过 N 点时的速度是经过 M 点时的速度的$\sqrt{2}$倍
   C. MQ 之间的距离是 NQ 之间距离的 1/2
   D. NQ 之间的距离是 MQ 之间距离的$\sqrt{2}$倍

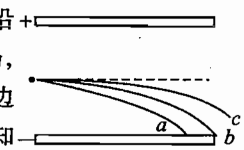
7. 分别为 1 价和两价的静止铜离子,经过同一电场加速后,再垂直经过同一偏转电场,然后落到一屏上. 如图,离子重力不计,以下判断正确的是( )



   A. 离子经过加速电场时,二价铜离子受到的电场力的冲量大
   B. 在偏转电场中,电场力对两种离子做的功一样多
   C. 两种铜离子打在屏上时的速度一样大
   D. 两种铜离子打在屏上的同一点

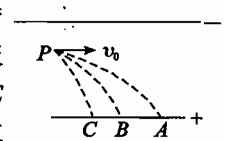
8. 一个初动能为 E_k 的电子,垂直电场线直飞入平行板电容器中,飞出电容的动能为 $2E_k$,如果此时电子的初速度增到原来的 2 倍,则它飞出电容器时的动能变为( )
   A. $4E_k$ B. $8E_k$
   C. $4.5E_k$ D. $4.25E_k$

9. 三个同种带电粒子 a、b、c 在同一处沿同一方向垂直于电场线飞进偏转电场,出现图中所示的运动轨迹(b 擦着板边缘飞出,a、b、c 重力不计)由此可知( )



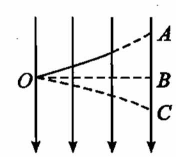
   A. 当 b 飞离电场的同时,a 刚好打在负极板上
   B. b 和 c 同时飞离电场
   C. 进入电场时,c 的速度最大,a 的速度最小
   D. 动能增加量 c 最小,a 和 b 一样大

10. 如右图所示,有三个质量相等分别带正电、负电、不带电的小球,从平行板电场中的 P 点以相同初速度垂直于 E 进入电场,它们分别落到 A、B、C 三点,则可判断( )



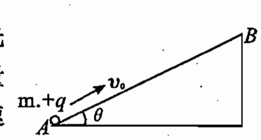
   A. 落到 A 点的球带正电,B 点的不带电
   B. 三小球在电场中运动的时间相等
   C. 三小球落到正极上时动能:$E_{kA}>E_{kB}>E_{kC}$
   D. 三小球在电场中加速度:$a_A>a_B>a_c$

11. 如图,油滴 a、b、c 以相同的初速度垂直进入竖直向下的匀强电场中,其轨迹分别为 OA、OB、OC,且 $AB>BC$,则下列判断正确的是( )



   A. a 带负电,b 不带电,c 带正电
   B. a 的加速度最大,b 的加速度最小
   C. c 在运动中动能一定增加
   D. 电场力一定对 c 做功

12. 如图所示,长为 L、倾角为 θ 的光滑绝缘斜面处于电场中,一带电量为 $+q$,质量为 m 的小球,以初速



度 v_0 从斜面底端的 A 点开始沿斜面上滑，当达到斜面顶端的 B 点时，速度仍为 v_0，则（　　）

A. A、B 两点间的电势差一定等于 $\frac{mgl\sin\theta}{q}$

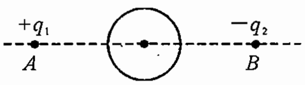
B. 小球在 B 点的电势能一定大于在 A 点的电势能

C. 若电场是匀强电场，则该电场的电场强度的最大值一定为 $\frac{mg}{q}$

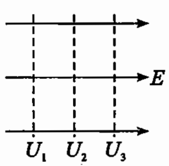
D. 若该电场是斜面中点正上方某点 C 的点电荷 Q 产生的，则 Q 一定是负电荷

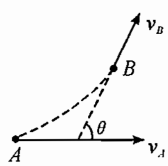
二、填空题（5 分×4＝20 分）

13. 如图所示，点电荷 A 和 B 带电量分别为 3.0×10^{-8}C 和 -2.4×10^{-8}C，彼此相距 6cm，若在两电荷连线中点处放一个半径为 1cm 的金属球壳，则该壳上感应电荷在球心处产生的场强大小为________N/C，方向________.



14. 如图，实线为电场线，虚线为等势面且相邻两等势面的电势差相等，一正电荷在等势面 U_3 上时具有动能 20J，它运动到等势面 U_1 上时，速度恰好为零，令 $U_2=0$，那么，当该电荷的电势能为 4J 时，其动能大小为________J.

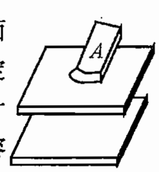




15. 如图所示，带电粒子质量为 m，所带电量为 q，仅在电场力作用下以恒定的速率 v_0 沿同一圆弧从 A 点运动到 B 点，粒子的速度方向转过 θ 角，设 AB 弧长为 S，则 B 处的场强大小为________，A、B 两点间的电势差为________.

更多资料干货 关注微信公众号 学习第一线 赠送5000G学习大礼包

16. 如图所示，有的计算机键盘的每一个键下面都连一个小块金属片，与该金属片隔有一定空隙的是另一块小的固定的金属片. 这两片金属片组成一个小电容器. 该电容器的电容 C 可用公式 $C=\varepsilon\frac{S}{d}$ 计算，式中常数 $\varepsilon=9\times10^{-12}$F/m，$S$ 表示金属片的正对面积，d 表示两金属片间的距离. 当键被按下时，此小电容器的电容发生变化，与之相连的电子线路就能检测出是哪个键按下了，从而给出相应的信号，设每个金属片的正对面积为 50mm²，键末按下时两金属片的距离为 0.6mm，如果电容变化 0.25pF，电子线路恰能检测出必要的信号，则键至少需要被放下________mm.



三、实验题（5 分×2＝10 分）

17. 如果在"正负点电荷"电场中等势线的描绘实验中，每相差 0.1V 就画一条等势线，那么这些等势线在空间的分布情况是（　　）

A. 以电极连线为中心的轴对称

B. 以电极连线的中垂线为中心的轴对称

C. 等势线之间的距离相等，间隔均匀

D. 距电极越近，等势线越密

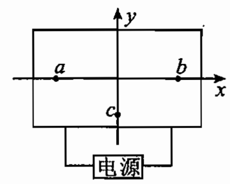
18. 描绘电场中等势线的实验装置如图所示，如以 a、b 两个电极的连线为 x 轴，以 a、b 连线的中垂线为 y 轴，并将一探针固定在 y 轴上的 c 点，将另一探针由 a 点沿 x 轴方向移到 b 点，在这一过程中，灵敏电流计的偏转角度将（　　）

A. 由小逐渐增大

B. 由大逐渐减小

C. 先由大到小，后由小到大

D. 先由小到大，后由大到小



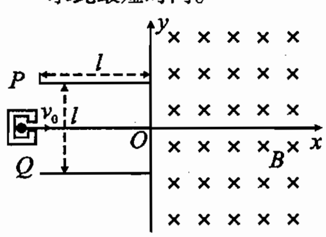
四、计算题（共 22 分）

19. （10 分，2009 山东卷）如图甲所法，建立 Oxy 坐标系。两平行极板 P、Q 垂直于 y 轴且关于 x 轴对称，极板长度和板间距均为 l，在第一、四象限有磁感应强度为 B 的匀强磁场，方向垂直于 Oxy 平面向里。位于极板左侧的粒子源沿 x 轴向右连续发射质量为 m、电量为 +q、速度相同、重力不计的带电粒子。在 $0\sim3t_0$ 时间内两板间加上如图乙所示的电压（不考虑极板边缘的影响）。已知 t＝0 时刻进入两板间的带电粒子恰好在 t_0 时刻经极板边缘射入磁场。上述 m、q、l、t_0、B 为已知量。（不考虑粒子间相互影响及返回极板间的情况）

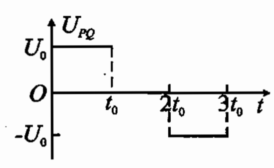
（1）求电压 U_0 的大小。

（2）求 $\frac{1}{2}t_0$ 时刻进入两板间的带电粒子在磁场中做圆周运动的半径。

（3）何时进入两板间的带电粒子在磁场中的运动时间最短？求此最短时间。



图甲

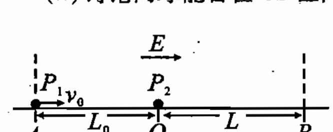


图乙

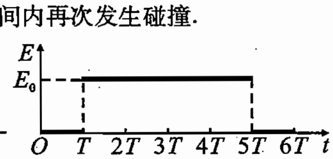
20. （12 分，2008·广东）如图（a）所示，在光滑绝缘水平面的 AB 区域内存在水平向右的电场，电场强度 E 随时间的变化如图（b）所示，不带电的绝缘小球 P_2 静止在 O 点. t＝0 时，带正电的小球 P_1 以速度 v_0 从 A 点进入 AB 区域，随后与 P_2 发生正碰后反弹，反弹速度大小是碰前的 $\frac{2}{3}$ 倍，P_1 的质量为 m_1，带电量为 q，P_2 的质量 $m_2=5m_1$，A、O 间距为 L_0，O、B 间距 $L=\frac{4L_0}{3}$，已知 $\frac{qE_0}{m_1}=\frac{2v_0^2}{3L_0}$，$T=\frac{L_0}{v_0}$.

（1）求碰撞后小球 P_1 向左运动的最大距离及所需时间；

（2）讨论两球能否在 OB 区间内再次发生碰撞.



(a)



(b)

第十三章

交变电流　电机

难点巧学

一、交变电流

（一）定义:强度和方向都随时间作周期性变化的电流叫交变电流.

（二）正弦式电流:随时间按正弦规律变化的交变电流叫正弦式电流.

（1）产生:在匀强磁场里,绕垂直于磁场方向的轴匀角速转动的线圈里产生正弦式电流.

（2）中性面:匀速旋转的线圈,位于跟磁感线垂直的平面叫做中性面.这一位置穿过线圈的磁通量最大,但切割边都未切割磁感线,或者说这时线圈的磁通量变化率为零,线圈中无感应电动势.

（3）变化规律:

①函数形式:N 匝面积为 S 的线圈绕垂直磁场在线圈平面内的轴以角速度 ω 转动,从中性面开始计时,则 $e=NBS\omega\sin\omega t$.用 E_m 表示峰值 $NBS\omega$,则 $e=E_m\sin\omega t$ 在纯电阻电路中,电压 $u=U_m\sin\omega t$,电流 $i=\frac{e}{R}=\frac{E_m}{R}\sin\omega t=I_m\sin\omega t$.

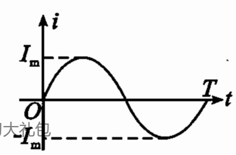


图 1

更多资料干货 关注微信公众号:学习第一站 赠送5000G学习大礼包

②图象:如图 1

二、巧从“等效替代”理解交变电流的有效值

由于交变电流的大小和方向随时间变化,它产生的效果也随时间变化,而实用中常常只要知道它的平均效果就可以了.例如,流过灯泡的交变电流不断变化,为什么看不出灯泡会一亮一暗?我们说这是由于电流变化太快而人眼有视觉暂留的缘故,当电流变小时,灯丝来不及变冷,电流又大了,所以灯丝总是热的,也就是说,灯泡的亮度是电功率随时间变化的平均效果,为此,我们可以从交流电的热效应上看,某个交流电与多大的直流电相当,由此引入有效值的概念.

怎样衡量交变电流的平均效果呢?即用一个周期内与交变电流有相同热效应的直流来表示交变电流的平均效果(三同:同时间、同电阻、同热量).换句话说,在交变电流中有实际意义的往往不是瞬时功率,而是它在一个周期内的有效值,这个有效值如果不为0(对于纯电阻电路就是这样),则可以在形式上写成与直流电路功率相同的公式:$P=IU$,I 和 U 就是交变电流的有效值.

三、巧用交变电流的“四个值”

交变电流的“四值”是指交变电流的瞬时值、峰值、有效值和平均值.明确交变电流“四值”的含义.弄清“四值”的适用对象、范围,掌握“四值”之间的关系是学好交变电流的关键.

（1）瞬时值

交变电流的瞬时值指交变电流某一时刻的值,反映的是不同时刻交变电流的大小和方向.在计算电动势、电流、电磁作用力、电功率等物理量的瞬时值时,要用到交变电流的瞬时值.

（2）峰值(最大值)

交变电流的峰值即最大的瞬时值,反映的是交变电流大小的变化范围.当电路中通以交变电流 $e=E_m\sin\omega t$ 或 $i=I_m\sin\omega t$ 时,电压或电流所达到的最大数值 E_m 和 I_m 叫做交变电流的峰值.当线圈平面和磁感线平行时,电动势最大,$E_m=NBS\omega$,$I_m=E_m/R$.

在考察电容器或晶体二极管的耐压值时,应根据交流电的峰值.

（3）有效值

跟交变电流的热效应等效的恒定电流的值叫做交变电流的有效值,对正弦式交流电,其有效值与峰值间的关系为:$E=E_m/\sqrt{2}$,$U=U_m/\sqrt{2}$,$I=I_m/\sqrt{2}$,对于一个确定的交流电来说,其有效值是恒定的.

求电功、电功率、焦耳热,以及保险丝的熔断电流等物理量时,要用交流电的有效值来计算,各种交流用电器铭牌上标明的额定电压、额定电流和交流电表测得的数值都是指有效值,不加特别说明提到交流的电压、电流都是指有效值.

（4）平均值

交变电流的平均值是由 $\bar{\varepsilon}=n\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$ 和 $\bar{I}=\varepsilon/R$ 确定的,它表现为电流图象中波形对横轴(t 轴)所围“面积”对时间的比值,其值大小与所取时间间隔有关.如对正弦交流,其正半周或负半周的平均电动势大小为 $\bar{\varepsilon}=\frac{n\cdot 2Bs}{\frac{T}{2}}=\frac{2nBs\omega}{\pi}$,而一周期内的平均电动势却为零.在计算交流电通过电阻产生的热功率时,只能用有效值,而不能用平均值.在计算通过导体的电量时,只能用平均值,而不能用有效值.

一般情况下,交变电流的瞬时值、峰值、有效值和平均值是不同的,且不存在必然的联系,但在某些特殊情况下,四者又有一定关系.

①当线圈平面与磁感线平行时,瞬时值等于最大值.

②对于正弦式交流电,其有效值与峰值间的关系为:$E=E_m/$

$\sqrt{2}$，$U=U_m/\sqrt{2}$，$I=I_m/\sqrt{2}$，非正弦式交流电应根据电流的热效应确定电流的有效值.

③对于矩形电流，若峰值相等，则峰值等于有效值和平均值.

四、巧用交变电流瞬时表达式或图象

(1)巧用交变电流瞬时表达式或图象确定初始时刻线圈的位置

在一些问题中，往往需要知道线圈初始时刻的位置，才能正确解答问题. 一般说来，若函数表达式是正弦函数，图象是正弦曲线，表明计时起点线圈在中性面位置；若函数表达式是余弦函数，图象是余弦曲线，表明计时起点线圈平面与磁场平行.

(2)巧用交变电流瞬时表达式或图象确定交流电周期及线圈转动的角速度在交流电表达式 $e=E_m\sin\omega t$ 中，$E_m=NBS\omega$，$\omega=2\pi/T$，而在图象中曲线峰值即为最大值.

(3)巧用交变电流瞬时表达式或图象确定等效的 BS 值(磁感应强度与线圈面积的乘积：$\varphi=BS$)以求解交流电某段时间内的平均值、线圈某时刻的磁力矩等其他问题.

(4)巧用交变电流瞬时表达式或图象可判断周期性变化的电场中带电粒子运动的情况

五、变压器的原理及规律

(1)变压器是通过由绕制在同一闭合铁芯上的两个线圈间发生电磁感应现象工作的(是线圈间发生的一种互感现象)，是改变交流电压的设备.

理想变压器是指无铁损(即无漏磁现象)和铜损(线圈无发热现象)的变压器，因此原线圈的输入功率等于副线圈的输出功率，穿过每匝原线圈的磁通量及磁通量的变化率等于穿过每匝副线圈的磁通量及磁通量的变化率，这两点是理想变压器的理论依据，变压器的原、副线圈间的电动势、电压、电流关系都由它们推证得到.

更多资料干货 关注微信公众号 学习第一线 赠送5000G学习大礼包

(2)理想变压器的有关规律

①功率关系：$P_入=P_出$，即无论有几个副线圈在工作，变压器的输入功率总等于所有输出功率之和.

②电压关系：$U_1/U_2=n_1/n_2$，对原副线圈匝数比($\frac{n_1}{n_2}$)确定的变压器，其输出电压 U_2 是由输入电压决定的，$U_2=\frac{n_2}{n_1}U_1$.

③变压器不改变交流电的频率和周期.

需要特别引起注意的是：

①只有当变压器只有一个副线圈工作时，才有：$U_1I_1=U_2I_2$，$\frac{I_1}{I_2}=\frac{n_2}{n_1}$

若有多个线圈时，从能量守恒角度抓住变压器的输入功率总等于所有输出功率之和. $I_1U_1=I_2U_2+I_2'U_2'+I_2''U_2''+\cdots$

②变压器的输入功率由输出功率决定，往往用到：$P_1=U_1I_1=(\frac{n_2U_1}{n_1})^2/R$

即在输入电压确定以后，输入功率和原线圈电压与副线圈匝数的平方成正比，与原线圈匝数的平方成反比，与副线圈电路的电阻值成反比. 式中的 R 表示负载电阻的阻值，而不是“负载”.“负载”表示副线圈所接的用电器的实际功率. 实际上，R 越大，负载越小；R 越小，负载越大. 这一点在审题时要特别注意.

六、巧用远距离输电“三、二、一”

分析远距离输电的有效方法是：理清三个回路、掌握两个联系、抓住一个能量守恒定律.

(1)理清三个回路

如图2为远距离输电的简化电路原理图. 我们可以把它划分为三个回路.

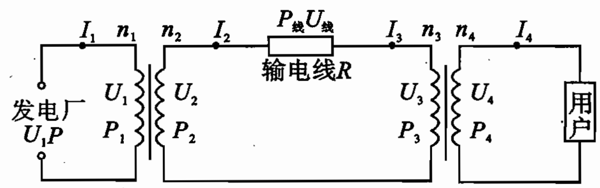


图2

回路1. 发电机电路

由发电机和输电线路的升压变压器的原线圈1组成. 在这个电路中，发电机是电源，线圈1相当于用电器，导线的直流电阻可忽略. 通过线圈1中的电流 I_1 等于发电机中的电流，线圈1两端的电压 U_1 等于发电机的端电压 U，线圈1输入的功率 P_1 等于发电机输出的电功率 P，即 $U_1=U$，$P_1=P$.

回路2. 输送电路

由输电线路的升压变压器的副线圈2和降压变压器的原线圈3组成. 在这个电路中，线圈2相当于电源，而线圈3相当于用电器，由于线圈2和线圈3相距较远，输电导线的电阻(设为 R)不可忽略，故 R 也是该回路中的一个元件. 设通过线圈2、线圈3和线路的电流分别为 I_2、I_3 和 $I_线$，线圈2、线圈3两端的电压为 U_2、U_3，线路中损失的电压为 $U_线$，线圈2的输出功率为 P_2，线圈3的输入功率为 P_3，线路中损失的功率为 $P_线$，显然有：$I_2=I_3=I_线$，$U_2=U_3+U_线$，$P_2=P_3+P_线$

回路3. 输出电路

由降压变压器的副线圈4和用户组成. 这个电路中，线圈4相当于电源，由它向用户供电，考虑到线圈4和用户相距较近，线路中导线的电阻可忽略不计，设通过线圈4和用户的电流分别为 I_4 和 $I_用$，线圈4两端的电压和用户使用电压分别为 U_4 和 $U_用$，线圈4的输出功率和用户消耗的功率分别为 P_4 和 $P_用$，则有：$I_4=I_用$，$U_4=U_用$，$P_4=P_用$.

(2)掌握两个联系

①理想的升压变压器联系了回路1和回路2，由变压器原理可得：$P_1=P_2$，$U_1/U_2=n_1/n_2$，$I_1n_1=I_2n_2$

②理想的降压变压器联系了回路2和回路3，由变压器原理可得：$P_3=P_4$，$U_3/U_2=n_3/n_4$，$I_3n_3=I_4n_4$

(3)抓住一个能量守恒定律

发电机把机械能转化为电能，并通过导线将能量输送给线圈1，线圈1上的能量就是远距离输电的总能量，在输送过程中，

先被回路 2 上的导线电阻损耗一小部分，剩余的绝大部分通过降压变压器和回路 3 被用户使用消耗，所以其能量关系为：$P_1 = P_{线损} + P_{用户}$.

活题巧解

例1 （2005·上海）正弦交流电是由闭合线圈在匀强磁场中匀速转动产生的.线圈中感应电动势随时间变化的规律如图所示，则此感应电动势的有效值为________V，频率为________Hz.

【巧解】 图象法 推论法

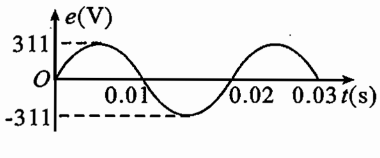


图 3

由正弦交流的图象知感应电动势的峰值为 311V，根据推论得此感应电动势的有效值为 220（或$\frac{311\sqrt{2}}{2}$）V，由图象得此交流电的周期为 0.02s，根据频率和周期互为倒数得频率为 50Hz.

【答案】 220（或$\frac{311\sqrt{2}}{2}$）V，50Hz

例2 交流发电机的转子由平行于磁场的位置开始匀速转动，与它并联的电压表的示数为 14.1V，那么当线圈转过 30°时交流电压的即时值为________V.

【巧解】 公式推导法

电压表的示数为交流电压的有效值，由此可知最大值为 $U_m = \sqrt{2}U = 20V$；该交流电从线圈垂直中性面的位置计时，根据 $U = U_m\cos\omega t$，转过 30°时刻的即时值为 $U = U_m\cos30° = 17.3V$.

更多资料下载 关注微信公众号 学习第一线 赠送5000G学习大礼包

【答案】 17.3V

例3 （2005·上海）通过某电阻的周期性交变电流的图象如图 4.求该交流电的有效值 I.

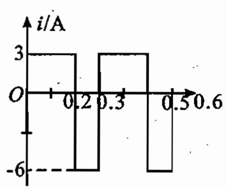


图 4

【巧解】 等效法

该交流周期为 $T = 0.3s$，前 $t_1 = 0.2s$ 为恒定电流 $I_1 = 3A$，后 $t_2 = 0.1s$ 为恒定电流 $I_2 = -6A$，因此这一个周期内电流做的功可以求出来，根据有效值的定义，设有效值为 I，根据定义有：$I^2RT = I_1^2Rt_1 + I_2^2Rt_2$，代入数据计算得：$I = 3\sqrt{2}A$

【答案】 $3\sqrt{2}A$

例4 （2005·全国）处在匀强磁场中的矩形线圈 $abcd$，以恒定的角速度绕 ab 边转动，磁场方向平行于纸面并与 ab 垂直，在 $t = 0$ 时刻，线圈平面与纸面重合（图 5），线圈的 cd 边离开纸面向外运动.若规定由 $a \to b \to c \to d \to a$ 方向的感应电流为正，则能反映线圈中感应电流 I 随时间 t 变化的图线是（ ）

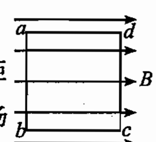


图 5

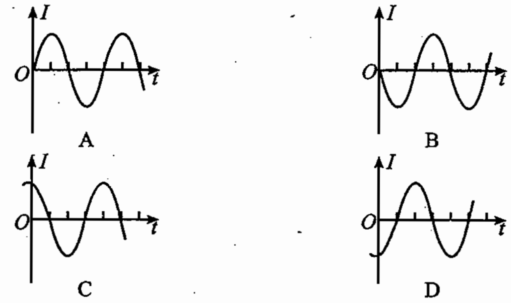


图 6

【巧解】 模型法 排除法

线圈中感应电流是由闭合线圈在匀强磁场中匀速转动产生的，是典型的发电机模型，产生交变电流，由在 $t = 0$ 时刻线圈平面与纸面重合则该电流为余弦交流电，则排除选项 A、B，由题中规定的正方向可排除选项 D，所以选 C.

【答案】 C

例5 交流发电机转子有 n 匝线圈，每匝线圈所围面积为 S，匀强磁场的磁感应强度为 B，匀速转动的角速度为 ω，线圈内电阻为 r，外电路电阻为 R.当线圈由图中（图 7）实线位置匀速转动 90°到达虚线位置过程中，求：（1）通过 R 的电荷量 q 为多少？（2）R 上产生电热 Q_R 为多少？（3）外力做的功 W 为多少？

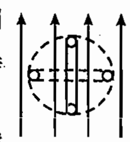


图 7

【巧解】 推论法

（1）由电流的定义，计算电荷量应该用平均值：即 $q = \bar{I}t$，而 $\bar{I} = \frac{\bar{E}}{R+r} = \frac{n\Delta\Phi}{t(R+r)} = \frac{nBS}{t(R+r)}$，$\therefore q = \frac{nBS}{R+r}$，这里电流和电动势都必须要用平均值，不能用有效值、最大值或瞬时值.

（2）求电热应该用有效值，先求总电热 Q，再按内外电阻之比求 R 上产生的电热 Q_R. $Q = I^2(R+r)t = \frac{E^2}{R+r} \cdot \frac{\pi}{2\omega} = \frac{(nBS\omega)^2\pi}{2(R+r)2\omega} = \frac{\pi\omega n^2B^2S^2}{4(R+r)}$，$Q_R = \frac{R}{R+r}Q = \frac{\pi\omega n^2B^2S^2R}{4(R+r)^2}$ 这里的电流必须要用有效值，不能用平均值、最大值或瞬时值.

（3）根据能量守恒，外力做功的过程是机械能向电能转化的过程，电流通过电阻，又将电能转化为内能，即放出电热.因此 $W = Q = \frac{\pi\omega n^2B^2S^2}{4(R+r)}$.一定要学会用能量转化和守恒定律来分析功和能.

【答案】 （1）$\frac{nBS}{R+r}$，（2）$\frac{\pi\omega n^2B^2S^2R}{4(R+r)^2}$，（3）$\frac{\pi\omega n^2B^2S^2}{4(R+r)}$

例6 （广东、河南高考题）一个理想变压器，原线圈和副线圈的匝数分别为 n_1 和 n_2，正常工作时输入和输出的电压、电流、功率分别为 U_1 和 U_2、I_1 和 I_2、P_1 和 P_2，已知 $n_1 > n_2$，则（ ）

A. $U_1 > U_2$，$P_1 < P_2$　　B. $P_1 = P_2$，$I_1 < I_2$

C. $I_1 < I_2$，$U_1 > U_2$　　D. $P_1 > P_2$，$I_1 > I_2$

【巧解】 守恒法

理想变压器实质是能量转换器，理想变压器在转换过程中没有能量损失.即有 $P_1 = P_2$，$U_1I_1 = U_2I_2$，因 $U_1/U_2 = n_1/n_2$，所以

由 $n_1>n_2$ 得 $U_1>U_2$，从而推出 $I_1<I_2$，故选项 B、C 正确.

【答案】 B、C

例7 （全国高考题）如图 8 所示中 A、B、C、D 是 4 种亮度可调的台灯的电路示意图，它们所用的白炽灯泡相同，且都是“220V，40W”，当灯泡所消耗的功率都调到 20W 时，哪种台灯消耗的功率最小？（　　）

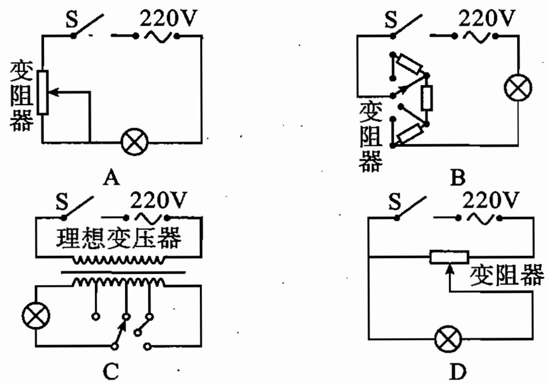


图 8

【巧解】 模型法

台灯消耗的功率包括白炽灯泡和变阻器、变压器等消耗的总功率，而变压器是理想变压器，该模型在能量转换过程中无损失，故 C 正确.

【答案】 C

例8 如图 9 理想变压器初级线圈和两个次级线圈的匝数分别为 $n_1=1760$ 匝、$n_2=288$ 匝、$n_3=8000$ 匝，电源电压为 $U_1=220\text{V}$. n_2 上连接的灯泡的实际功率为 36W，测得初级线圈的电流为 $I_1=0.3\text{A}$，求通过 n_3 的负载 R 的电流 I_3.

更多资料干货 关注微信公众号 学习第一线 赠送5000G学习大礼包

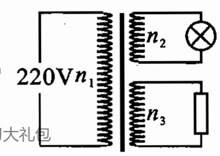


图 9

【巧解】 比值法　守恒法

由 $U\propto n$ 可求得 $U_2=36\text{V}$，$U_3=1000\text{V}$；由于两个次级线圈都在工作，所以不能用 $I\propto 1/n$，而应该根据 $P_入=P_出$ 即 $P_1=P_2+P_3$，由 $U_1I_1=U_2I_2+U_3I_3$ 和 $I_2=1\text{A}$ 可得 $I_3=0.03\text{A}$.

【答案】 0.03A

例9 如图 10 所示，理想变压器的副线圈上通过输电线接两个相同的灯泡 L_1 和 L_2，输电线的等效电阻为 R，开始时开关 S 断开，当 S 接通时，以下说法正确的是（　　）

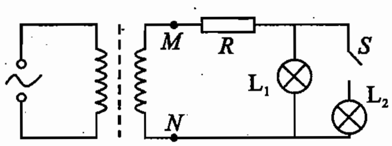


图 10

A. 副线圈两端 M、N 的输出电压减小

B. 副线圈输电线等效电阻 R 上的电压将增大

C. 通过灯泡 L_1 的电流减小

D. 原线圈的电流增大

【巧解】 动态分析法　推理法

理想变压器不计原副线圈的直流电阻，端电压 U_{MN}（有效值）不受负载电阻的影响，始终等于副线圈的感应电动势，而保持不变，故 A 项是错误的. S 接通后，次级回路的总电阻减小，而 U_{MN} 保持不变，故次级回路中电流 I_2 增大，输电线等效电阻 R 上的电压增大，导致灯泡 L_1 两端电压减小，L_1 中电流减小，可见 B、C 项正确，又因 I_2 增大，U_{MN} 不变，变压器的输出功率增大，故输入功率随着增大，原线圈中的电流 I_1 增大，D 项正确，所以本题正确答案应选 BCD.

【答案】 BCD

【点评】 （变压器动态问题）制约思路

（1）电压制约：当变压器原、副线圈的匝数比（n_1/n_2）一定时，输出电压 U_2 由输入电压决定，即 $U_2=n_2U_1/n_1$，可简述为“原制约副”.

（2）电流制约：当变压器原、副线圈的匝数比（n_1/n_2）一定，且输入电压 U_1 确定时，原线圈中的电流 I_1 由副线圈中的输出电流 I_2 决定，即 $I_1=n_2I_2/n_1$，可简述为“副制约原”.

（3）负载制约：

①变压器副线圈中的功率 P_2 由用户负载决定，$P_2=P_{负1}+P_{负2}+\cdots$；

②变压器副线圈中的电流 I_2 由用户负载及电压 U_2 确定，$I_2=P_2/U_2$；

③总功率 $P_总=P_线+P_2$

负载对原线圈的影响：副线圈负载增加（接入用电器增多）→流过副线圈电流增加→副线圈的输出功率增加→原线圈输入功率增加→原线圈输入电流增大.

动态分析问题的思路程序可表示为：

$$U_1\xrightarrow[\text{决定}]{\frac{U_1}{U_2}=\frac{n_1}{n_2}}U_2\xrightarrow[\text{决定}]{I_2=\frac{U_2}{R_{负载}}}I_2\xrightarrow[\text{决定}]{P_1=P_2(I_1U_1=I_2U_2)}I_1\xrightarrow[\text{决定}]{P_1=I_1U_1}P_1$$

例10 （上海高考题）水电站给远处山村送电的输出功率是 100kW，用 2000V 的电压输电，线路上损失的功率是 $2.5\times10^4\text{W}$；如果改用 20000V 高压输电，线路上的损失的功率是________W.

【巧解】 比值法

变压器的具体运用体现在远距离输电上，通过变压器的升压，进而降低输电线上的电流，大大减少线路上的损失，从而达到能量的有效利用. 改用 20000V 高压输电，电压提高为原来的 10 倍，电流就减小到原来的 $\frac{1}{10}$，据 $P_损=I^2R_线$，线路上功率损失减小为原来的 $\frac{1}{100}$，故 $P_损=250\text{W}$.

【答案】 250W

例11 学校有一台应急备用发电机，内阻为 $r=1\Omega$，升压变压器匝数比为 1:4，降压变压器的匝数比为 4:1，输电线的总电阻为 $R=4\Omega$，全校 22 个教室，每个教室用“220V，40W”的灯 6 盏，要求所有灯都正常发光，则：（1）发电机的输出功率多大？

(2)发电机的电动势多大？(3)输电线上损耗的电功率多大？

【巧解】 守恒法

(1)画出输电示意图(如图 11)

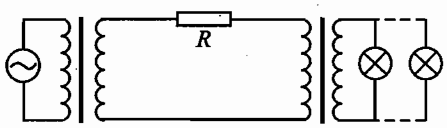


图 11

所有灯都正常工作的总功率为 $22\times6\times40=5280\text{W}$，用电器总电流为 $I'_2=\frac{P'_2}{U'_2}=\frac{5280}{220}=24\text{A}$，输电线上的电流 $I'_1=I_r=I_2=\frac{I'_2}{4}=6\text{A}$，降压变压器上：$U_2=4U_2'=880\text{V}$，输电线上的电压损失为：$U_r=I_RR=24\text{V}$，因此升压变压器的输出电压为 $U_1'=U_R+U_2=904\text{V}$，输入电压为 $U_1=U_1'/4=226\text{V}$，输入电流为 $I_1=4I_1'=24\text{A}$，所以发电机输出功率为 $P_{出}=U_1I_1=5424\text{W}$

(2)发电机的电动势 $E=U_1+I_1r=250\text{V}$

(3)输电线上损耗的电功率 $P_R=I_R^2R=144\text{W}$

【答案】 (1)5424W，(2)250V，(3)144W

例 12 某理想变压器如图 12，当其输入端接在电动势为 E，内阻为 r 的交流电源上，输出端接上电阻为 R 的负载时，R 上可获得最大功率，求：

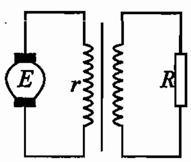


图 12

(1)这时输入电流多大？负载上的最大功率为多少？

(2)负载获得最大功率时，变压器的原副线圈的电压各为多少？

更多资料干货 关注微信公众号 学习第一线 赠送5000G学习大礼包

【巧解】 等效电源法 配方求极值法

(1)本题可建立这样一个电路模型：交流电源与原线圈组成一个闭合回路，副线圈与负载组成一个另一闭合回路。如图 12 设原线圈中电流为 I_1 时，负载上获得最大功率，这时变压器的输出功率也最大，由全电路欧姆定律，得 $U=E-I_1r$，$P_1=I_1E-I_1^2r=-r(I_1-E/2r)^2+E^2/4r$，当 $I_1=E/2r$ 时，输出功率最大，负载上的最大功率为 $P_M=E^2/4r$

(2)与负载 R 组成闭合回路中，副线圈为等效电源，负载 R 获得的功率为 $P_R=U_2^2/R=E^2/4r$，解得副线圈电压为 $U_2=\frac{E}{2}\sqrt{\frac{R}{r}}$，这时原线圈电压为 $U_1=E-I_1r=\frac{E}{2}$.

【答案】 (1)$I_1=E/2r$，$PM=E^2/4r$，(2)$U_1=\frac{E}{2}$，$U_2=\frac{E}{2}\sqrt{\frac{R}{r}}$

例 13 (全国高考题)如图 13 所示，A、B 是一对中间有小孔的平行金属板，两小孔的连线与金属板面垂直两板间相距 L，板间加上低频交流电压，A 板电势为零，B 板电势 $u=u_0\cos\omega t$. 现有一电子在 $t=0$ 时，穿过 A 板上的小孔进入电场设初速和重力影响可忽略不计，则电子在两板间可能( )

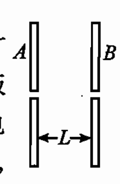


图 13

A. 以 AB 间的某一点为平衡位置来回振动

B. 时而向 B 板运动，时而向 A 板运动，但最后穿出 B 板

C. 一直向 B 板运动，最后穿出 B 板，如果 ω 小于某个值 ω. L 小于某个值 L.

D. 一直向 B 板运动，最后穿出 B 板，而不论 ω，L 为何值.

【巧解】 推理法 图象法 转化法

A 板电势为零，而 B 板电势根据 $u=u_0\cos cut$ 可作出按余弦规律变化的图象(图 14)，$t=0$ 时，$V_B=V_0$ 两板间电压最大，其场强最大，方向由 B 板指向 A 板，在 $0\sim T/4$ 时间内，场强方向不变其大小按余弦规律减小. $t=T/4$ 时场强为零，随后场强方向会改变为由 A 板指向 B 板，大小按余弦规律变化……

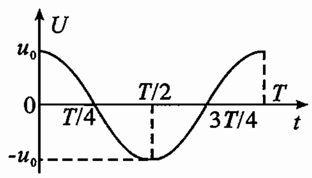


图 14

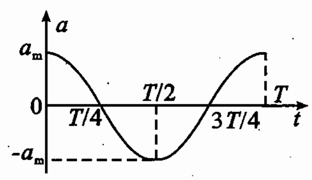


图 15

电子在 $t=0$ 时进入小孔，速度为零，在电场中有一加速度最大 a_m，方向指向 B 板，在 $0\sim(\pi/4)$ 时间内，电子速度增加，由于场强减小，加速度减小，当 $t=T/4$ 时，场强为零，加速度为零，电子向 B 板方向运动的速度达到最大值，设这时电子距 A 板的距离为 d，其电子在两板间的加速度和速度变化的情况如图(图 15)、(图 16)的图象所示. 从图(图 16)的图象可看出，在 $0\sim T/4$ 时间内，电子速度增大过程中所运动的距离为 $v-t$ 图线与 t 轴上 $0-T/4$ 线段所围的面积力，即为 d，在 $T/4-T/2$ 时间内板间电场方向，电子加速度反向，且由小变大，此时电子做减速运动仍向 B 板运动，当 $t=T/2$ 时，速度为零，电子离 A 板距离最大即为 $2d$. 在 $t=T/2$ 以后电子将向 A 板运动，$T/2=3/4T$ 电子做向 A 板方向加速运动，$3/4T-T$ 电子做向 A 板方向的减速运动，电子回到 A 板上的小孔，每一个周期电子将重复第一个周期的情景，可见，电子将在 AB 间以距 A 为 d 处为平衡位置来回振动.

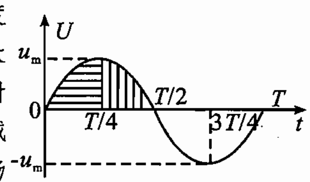


图 16

选项 A 在一般情况下是可能的，不难看出当 $L<2d$ 时，电子在 $t>T/2$ 的某一时刻会成 B 板上的小孔穿出，这题应选 A、C.

【答案】 A、C

第十三章　交变电流　电机综合测试

一、选择题(4 分×12 = 48 分)

1. 一正弦交流电的有效值为 3A,频率为 50Hz,则此交变电流的瞬时值表达式可能是(　　)

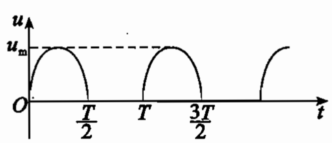
A. $i = 3\sin 314t$A　　B. $i = 3\sqrt{2}\sin 314t$A

C. $i = 3\sin 50t$A　　D. $i = 3\sqrt{2}\sin 50t$A

2. 一理想变压器的副线圈为 200 匝,输出电压为 10V,则铁芯内的磁通量变化率的最大值为(　　)

A. 0.07Wb/s　B. 5Wb/s　C. 7.05Wb/s　D. 14.1Wb/s

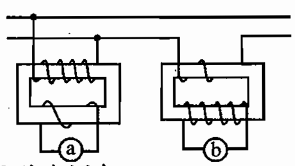
3. 家用电子调光灯的调光原理是利用电子线路将输入的正弦交变电压的波形截去一部分来实现的,由截去部分的多少来调节电压,从而实现灯光的可调,比过去用变压器调压方便且体积小. 某电子调光灯经调整后电压波形如图所示,则灯泡两端的电压为(　　)



A. $\frac{\sqrt{2}}{2}U_m$　B. $\frac{\sqrt{2}}{4}U_m$　C. $\frac{1}{2}U_m$　D. $\frac{1}{4}U_m$

4. 如图所示为两个互感器,在图中圆圈内 a、b 表示电表,已知电压比为 100,电流比为 10,电压表的示数为 220V,电流表的示数为 10A,则(　　)

更多资料干货 关注微信公众号 学习第一线 赠送5000G学习大礼包



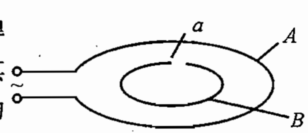
A. a 为电流表,b 为电压表

B. a 为电压表,b 为电流表

C. 线路输送电功率是 2200W

D. 线路输送电功率是 2.2×10^6W

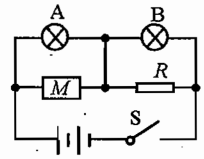
5. 如图所示是利用高频交流电焊接自行车零件的原理示意图,其中外圈 A 是通过高频交流电的线圈,B 是自行车的零件,a 是待焊接的接口,接口两端接触在一起. 高频焊接时在线圈 A 中通以高频交流电,B 中会产生感应电流,其焊缝中就会产生大量焦耳热,使接口处金属熔化而焊接起来,要使焊接处产生热量较大,下列可采用方法有(　　)



A. 增大交流电的电压　B. 增大交流电的频率

C. 减小交流电的电压　D. 减小交流电的频率

6. 如图所示电路中,A、B 是两只完全相同的灯泡,两灯的阻值与电阻 R 的阻值相同. 与 A 灯并联的电学元件 M 可能是电容器 C,也可能是电感系数较大而电阻可忽略的线圈 L. 当电键闭合的瞬间,两灯中的电流 i_A、i_B 的大小关系是(　　)



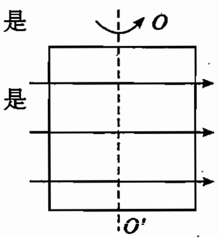
A. 若 M 是电容器 C,则 $i_A > i_B$

B. 若 M 是电容器 C,则 $i_A < i_B$

C. 若 M 是电感 L,则 $i_A > i_B$

D. 若 M 是电感 L,则 $i_A < i_B$

7. 边长为 a 正方形线圈,其电阻为 R,在匀强磁场中绕 OO' 轴匀速转动,如图所示每秒转数为 n,当线圈平面平行于磁感线时开始计时(　　)



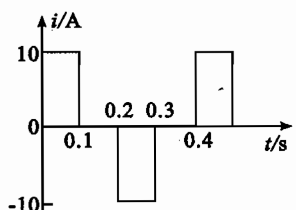
A. 线圈中产生感应电动势瞬时值是 $2\pi Ba^2 n\sin(2\pi nt)$

B. 线圈中产生感应电动势瞬时值是 $2\pi Ba^2 n\cos(2\pi nt)$

C. 线圈中感应电流的有效值是$\frac{2\pi Ba^2 n}{R}$.

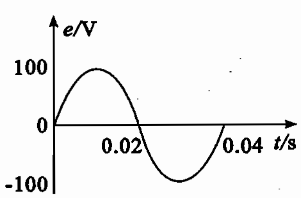
D. 线圈中感应电流周期是$\frac{1}{n}$.

8. 右图为一交流电的图象,则它的有效值为(　　)



A. 5A　B. 10A　C. $5\sqrt{2}$A　D. $10\sqrt{2}$A

9. 某交流发电机的感应电动势与时间的关系如图所示,若其他条件不变,仅使线圈转速加倍,则交流电电动势的最大值和周期将分别是(　　)



A. 400V、0.02s　B. 200V、0.02s

C. 400V、0.08s　D. 200V、0.02s

10. 远距离输送一定功率的交流电,若输送电压升高为原来的 n 倍,关于输电线上的电压损失和功率损失正确的是(　　)

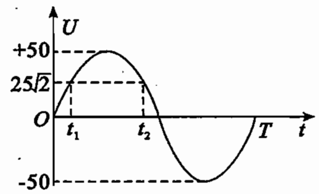
A. 输电线上电功率损失是原来的 $1/n$

B. 输电线上的电功率损失是原来的 $1/n^2$

C. 输电线上的电压损失是原来的 $1/n$

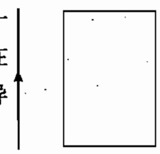
D. 输出电线上电压损失是原来的 $1/n^2$

11. 一只氖管的起辉电压与交流电压 $U = 50\sin 314t$V 的有效值相等,若将这交流电接到氖管的两极,在一个周期内,氖管的发光时间为(　　)



A. 0.02s　　B. 0.01s　　C. 0.05s　　D. 无法确定

12. 如图所示，矩形线框靠近长直导线，且在同一平面内，导线中通以 $i=I_m\sin\omega t$A 的电流，在下列哪段时间，线框受磁场力作用而远离导线？



A. 第一个$\frac{1}{4}T$　　B. 第二个$\frac{1}{4}T$

C. 第三个$\frac{1}{4}T$　　D. 第四个$\frac{1}{4}T$

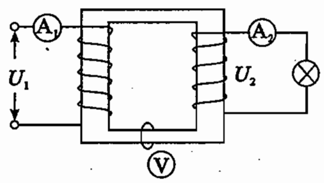
二、填空与作图题（5 分×5=25 分）

13. 100Ω 的电阻丝内通过交变电流 $i=I_m\cdot\sin100\pi t$（A），已知在 $t=\frac{T}{12}$时电流的瞬时值为 0.5A，通过电阻丝的交变电流的有效值为________A，在 $t=100T$ 时间内电阻丝产生的热量为________J.

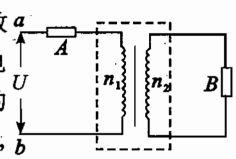
14. 某变电站用 20kV 的电压送电，导线损失的功率为输送功率的 10%，若提高送电电压，使其损失功率为输送功率的 2%，则所用升压变压器的原、副线圈的匝数比为________.

15. 如图所示，理想变压器输出电压 $U_2=220$V，已知变压器原线圈的匝数是 1650 匝，绕过铁芯的一根导线所接的电压表 V 的示数为 2V，副线圈电路中电流表 A_2 的示数为 5A，则副线圈的匝数 $n_2=$________匝，电流表 A_1 示数为________A.

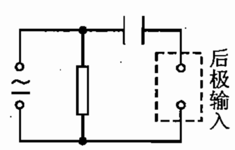
更多资料干货 关注微信公众号 学习第一线 赠送5000G学习大礼包



16. 如图所示，理想变压器原副线圈匝数比为 $n_1:n_2=4:1$，原线圈回路中的电阻 A 与副线圈回路中的负载电阻 B 的阻值相等，a、b 端加一定交流电压后，两电阻消耗功率之比 $P_A:P_B=$________，两电阻端电压之比 $U_A:U_B=$________.

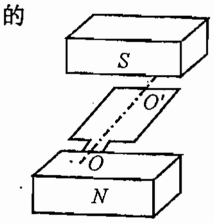


17. 在电子技术中，从某一装置输出的电流常常既有交流成分，又有一直流成分，如果只需要把交流成分输送到下装置，只要在两极电路之间接入一个电容器就可以了，如图所示，在图上画出后级输入的电流.（用－、～符号表示）

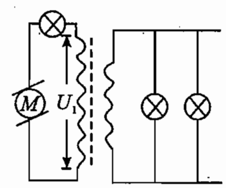


三、计算题（共 27 分）

18. （9 分）磁铁在电器中有广泛的应用，如发电机，如图所示. 已知一台单相发电机转子导线框共有 N 匝，线框长为 L_1，宽为 L_2，转子的转动角速度为 ω，磁极间的磁感应强度为 B，导出发电机的瞬时电动势 e 的表达式. 现在知道有一种强永磁材料钕铁硼，用它制成发电机的磁极时，磁感强度可增大到原来的 k 倍. 如果保持发电机结构和尺寸、转子转动角速度、需产生的电动势都不变，那么这时转子上的导线框需多少匝？



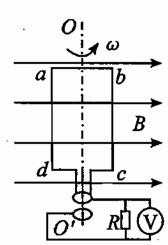
19. （9 分）如图所示，交流发电机电动势有效值 $E=20$V，内阻不计，它通过一个 $R=6\Omega$ 的指示灯泡连接理想降压变压器，变压器的输出端并联 24 只小灯泡. 每只灯泡都是“6V、0.25W”，灯泡都正常发光，导线电阻不计，求降压变压器初、次级线圈匝数比和发电机的输出功率.



20. （9 分）如图所示，为一交流发电机构造示意图，矩形线圈 $abcd$，已知 $ad=L_1$，$ab=L_2$，匝数为 n，线圈绕 OO'轴在磁感强度为 B 的匀强磁场中以角速度 ω 匀速转动，线圈电阻为 r，外电路电阻为 R，求：

（1）转动过程中电压表的示数.

（2）线圈每转一周，外力所做的功.



第十四章

物体的平衡

难点巧学

一、熟记口诀巧解题

在平衡问题的求解中，常见的是物体受两个力或三个力作用而处于平衡状态，记住口诀："二力平衡必共线，三力平衡必共点"，就能迅速而准确地作出物体的受力图，对于解决力的平衡问题有极大的帮助（三力平衡必共点是指三个同一平面里的非平行力）．这里的共点是力的作用线或其延长线相交于一点．

例1　在光滑半球形碗内放置一不均匀直棒，作出直棒的受力图．

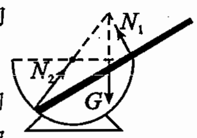


图1

【巧解】　直棒受到重力 G，方向竖直向下，受到碗内壁的弹力 N_2，方向指向球心．碗边缘的弹力 N_1，方向垂直于棒．由于棒是不均匀的，重心位置难以确定，但是根据"三力作用必共点"，可知重力作用线的反向延长线必与 N_1 和 N_2 的延长线交于一点，所以可迅速作出受力图，如图1所示．

二、巧作力的矢量图，解决力的平衡问题

更多资料干货 关注微信公众号 学习第一线 赠送5000G学习大礼包

对于物体受几个力的作用，要求解某些力的大小或解决动态平衡问题，最简便的方法是作出力的矢量图，这是解静力学问题最得力的工具．当物体受三力作用而平衡时这三个力必能构成一个自行封闭的首尾相连的三角形，而作这个三角形时请记住：这三个力让其中之一不动，平移一个，滑移一个，矢量图即成．

例2　图2中小球重30N，挡板竖直，斜面倾角30°，球处于静止状态，则挡板对小球的作用力为________牛，斜面对小球支持力为________牛．

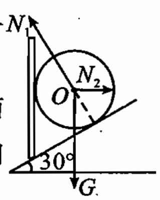


图2

【巧解】　斜面对球的弹力 N_1 作用线过球心并垂直于斜面向上，让 N_1 不动，重力 G 沿力的作用线向上滑移到其末端与 N_1 的首端相接，再将挡板对球的弹力 N_2 向上平移到末端与重力首端相接，就构成了力的矢量三角形．如图3所示，由此三角形立即可求得 $N_1=20\sqrt{3}N$，$N_2=10\sqrt{3}N$．

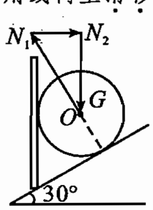


图3

如果让重力 G 不动，沿力的作用线向下滑移 N_1，再向下平移 N_2；或让 N_2 不动，而沿力的作用线向下滑移 N_1，而向左平移 G，效果相同．请同学们自行完成．

三、巧用图解分析求解动态平衡问题

所谓动态平衡问题是指通过控制某些物理量，使物体的状态发生缓慢变化，而在这个过程中物体又始终处于一系列的平衡状态．利用图解法解决此类问题的基本方法是：对研究对象在状态变化过程中的若干状态进行受力分析，依据某一参量的变化，在同一图中做出物体在若干状态下的平衡力图（力的平行四边形或力的矢量三角形图），再由动态的力平行四边形或三角形各边长度变化及角度变化确定力的大小及方向的变化情况．

例3　如图4所示，m 在三根细绳悬吊下处于平衡状态，现用手持绳 OB 的 B 端，使 OB 缓慢向上转动，且始终保持结点 O 的位置不动，分析 AO、BO 两绳中的拉力如何变化．

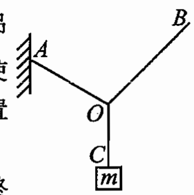


图4

【巧解】　由于 O 点始终不动，故物体始终处于平衡状态，OC 对 O 的拉力不变，且 OA 中拉力的 F_1 方向不变，由平衡条件可知绳 AO 的拉力与绳 OB 的拉力的合力的大小和方向都不变．现假设 OB 转至图5中位置，作出力的矢量图，依此即可看出，F_2 的始端与 F_1 的末端的公共点在沿 OA 方向向上移动，所以在 OB 上转的过程中，OA 中的拉力 F_1 变小，而 OB 中的拉力 F_2 是先变小后变大．

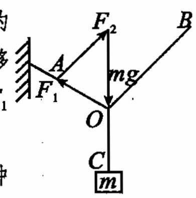


图5

该题动态平衡中各力的变化情况是一种常见类型，总结其特点有：①合力大小和方向不变；②一个分力的方向不变，分析另一个分力方向变化时两个分力的大小的变化情况．这种方法巧在只用作出力的矢量图不用建立坐标列方程．具有简单、直观的优点．

四、巧替换、化生僻为熟悉，化繁难就简易

替换与转换是物理上经常使用的方法．例如球面或柱面上平衡问题用斜面来替换，力的平衡问题转换为力矩平衡问题．

例4　如图6所示，A、B 两球用不可伸长的轻绳相连静止在光滑半圆柱面上，若 A 的质量为 m，则 B 的质量为多少？（$\sin37°=0.6$）

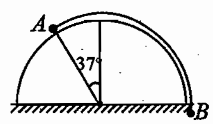


图6

【巧解】　从 A 球的受力角度看，B 球通过轻绳它的作用相当于一个大小为 m_Bg 的沿倾角37°的光滑斜面向上作用力．如图7所示．沿斜面方向：$m_Bg=mg\sin37°$，所以 $m_B=\frac{3}{4}m$．

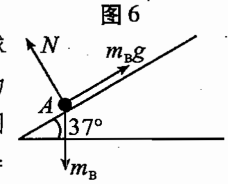


图7

可见经过这样替换，就变成了大家所熟知的斜面模型，使问题的解决变得简单明了.

例5 如图8所示，质量为 m 的均质木杆，上端可绕固定轴 O 自由转动，下端搁在木板上，木板置于光滑的水平面上，静止时木杆与竖直方向的夹角为45°，杆与木板间的动摩擦因数 $\mu=0.5$，今用水平力 F 匀速向右拉动木板，求拉力 F 的大小？

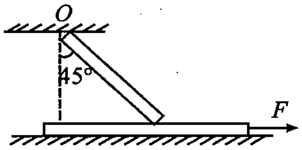


图8

【巧解】 木板受到的滑动摩擦力 f 水平向左，大小与 F 相等. 木杆受力如图9所示，设木杆长为 L，以 O 为转轴，由力矩平衡得：$fL\cos45°+NL\sin45°=\frac{1}{2}mgL$，

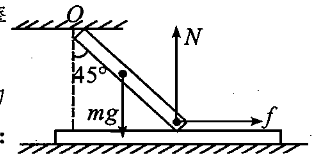


图9

$f=\mu N$，解得：$f=\frac{mg}{6}$. 所以 $F=\frac{mg}{6}$

由此转换后，不直接列力的平衡方程，而是列力矩平衡方程，凡是作用线通过 O 点的力不出现在方程中，使求解简化.

五、巧选研究对象是解决物理问题的关键环节

通常在研究连接体一类的问题或分析外力对系统的作用时，把几个相互作用的物体看成一个整体作为研究对象. 但物体之间总是相互作用的，为了使研究的问题得到简化，在分析系统内各物体（各部分）间相互作用时常将研究对象从相互作用的物体中隔离出来，而其他物体对研究对象的影响一律以力来表示. 在很多物理问题中，研究对象的选择方案是多种多样的. 研究对象的选择不同会影响求解的繁简程度. 通常整体与隔离要交替使用.

更多资料干货 关注微信公众号 学习第一线 赠送5000G学习大礼包

例6 如图10所示，位于水平桌面上的物块 P，由跨过定滑轮的轻绳与物块 Q 相连，从滑轮到 P 和到 Q 的两段绳都是水平的. 已知 Q 与 P 之间以及 P 与桌面之间的动摩擦因数都是 μ，两物块的质量都是 m，滑轮的质量、滑轮轴上的摩擦都不计，若用一水平向右的力 F 拉 P 使它做匀速运动，则 F 的大小为

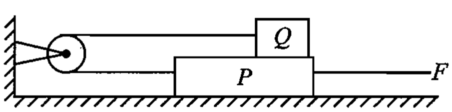


图10

A. $4\mu mg$　　B. $3\mu mg$　　C. $2\mu mg$　　D. μmg

【巧解】 整体法　图象法

选 Q 为研究对象，它的受力情况如图11示，由平衡条件得

$N_1=mg$　①

$T=f$　②

$F=\mu N_1$　③

所以 $f=\mu mg$

$T=\mu mg$

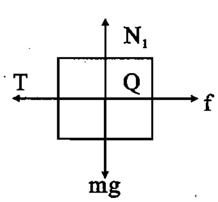


图11

以 P、Q 整体为研究对象，它们的受力情况如图12所示，由平衡条件得

$F=2T+f_2$　④

$N_2=2mg$　⑤

$f_2=\mu N_2$　⑥

代入数值得 $f_2=2\mu mg$

$F=4\mu mg$

【答案】 A

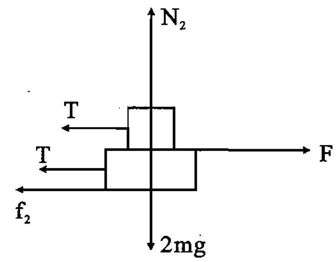


图12

活题巧解

例1 （08天津）在粗糙水平地面上与墙平行放着一个截面为半圆的柱状物体 A，A 与竖直墙之间放一光滑圆球 B，整个装置处于静止状态. 现对 B 加一竖直向下的力 F，F 的作用线通过球心，设墙对 B 的作用力为 F_1，B 对 A 的作用力为 F_2，地面对 A 的作用力为 F_3. 若 F 缓慢增大而整个装置仍保持静止，截面如图13所示，在此过程中

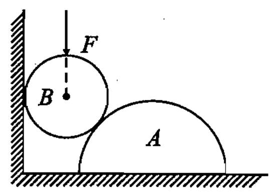


图13

A. F_1 保持不变，F_3 缓慢增大

B. F_1 缓慢增大，F_3 保持不变

C. F_2 缓慢增大，F_3 缓慢增大

D. F_2 缓慢增大，F_3 保持不变

【巧解】 力的分解法

力的合成法

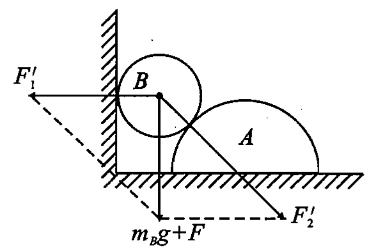


图14A

如图14A所示，根据合力（m_Bg+F）的作用效果，将其分解到垂直于墙和垂直于过 B 与 A 接触点的公切面方向，大小分别为 F_1'，F_2' 从矢量图可知，F 增大，F_1'、F_2' 也增大；而 F_1 与 F_1' 大小相等，方向相反，F_2 与 F_2' 大小相等，方向相同，故 F_1 与 F_2 随 F 增大而增大。又以 A 为研究对象，A 受三个物体作用，一是重力 GA，二是 B 给 A 的弹力 F_2，三是地面对 A 的静摩擦力和支持力的合力 F_3，且 GA 大小方向不变，F_2 随 F 增大且方向不变，由图14B 矢量图可知 F_3 随 F_2 增大而增大，故 C 正确.

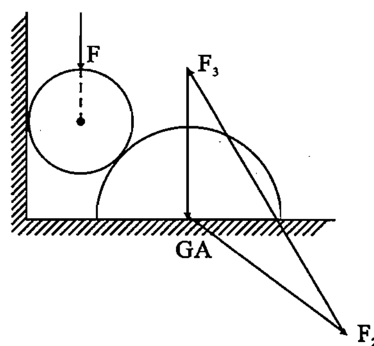


图14B

【答案】 C.

例2 如图15所示，直杆 OA 可绕 O 点转动，图中虚线与杆平行，杆右端 A 点受到 F_1、F_2、F_3、F_4 四个力的作用，力的作用线均与杆 OA 在同一竖直

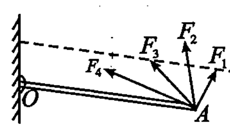


图15

平面内，则这四个力对转动轴的力矩 M_1、M_2、M_3、M_4 的大小顺序为(　　)

A. $M_1=M_2>M_3=M_4$　　B. $M_2>M_1=M_3>M_4$

C. $M_1>M_2>M_3>M_4$　　D. $M_2>M_1>M_4>M_3$

【巧解】 正交分解法

力矩等于力和力臂的乘积，此例4个力的大小顺序就难以确定了，更何况其方向各异.准确比较出它们对转轴 O 的力臂大小顺序也困难，因此通常方法几乎无法将四个力的力矩大小顺序排出，现在我们采用分解的方法，

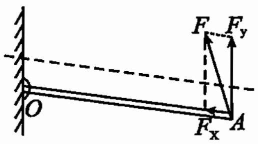


图 16

将各力沿平行于杆和垂直于杆的方向正交分解为 F_x、F_y，如图16所示，由于 F_x 过转轴 O，其力臂为零，而对每个 F_y 来说，对转轴 O 的力臂都为 OA 杆长，通过上述分解，把比较各力矩 M 大小转化为比较各分力 F_y 的大小，借助图中虚线易得：$F_{2y}>F_{1y}=F_{3y}>F_{4y}$ 故 $M_2>M_1=M_3>M_4$

【答案】 B

例3 (07江苏)如图17所示，光滑水平面上放置质量分别为m和2m的四个木块，其中两个质量为m的木块间用一不可伸长的轻绳相连，木块间的最大静摩擦力是 μmg.现用水平拉力F拉其中一个质量为2m的木块，使四个木块以同一加速度运动，则轻绳对m的最大拉力为(　　)

A. $\frac{3\mu mg}{5}$　　B. $\frac{3\mu mg}{4}$　　C. $\frac{3\mu mg}{2}$　　D. $3\mu mg$

更多资料干货 关注微信公众号 学习第一线 赠送5000G学习大礼包

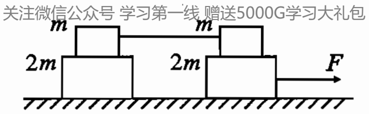


图 17

【巧解】 临界条件法　隔离法　整体法

如图18示F拉着的2m物体对其上的m物体施最大静摩擦力 μmg，这个力是使与之相连的4m一起加速的合外力，故系统最大加速度 $a=\mu mg/4m=g/4$，所以 $F=6ma=\frac{3\mu mg}{2}$，设绳的拉力为T. $\mu mg=2ma$. $T-\mu mg=ma$. ∵ $F=6ma$ ∴ $T=\frac{1}{2}F$ ∴ $T=\frac{3}{4}\mu mg$，选B.

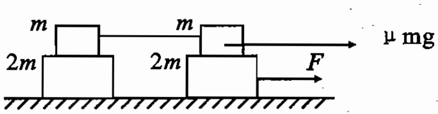


图 18

【答案】 B

例4 如图19，斜面倾角为 θ，位于斜面上的物体 M 在沿斜面向上的力 F 作用下，处于静止状态，则斜面作用于物块的静摩擦力(　　)

A. 方向可能沿斜面向上

B. 方向可能沿斜面向下

C. 大小可能为零

D. 大小可能等于 F

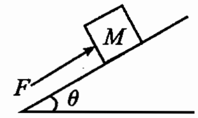


图 19

【巧解】 特值法

对于物体 M，至少受到三个力作用：重力、支持力、推力.当刚好只受这三个力作用时，$F=mg\sin\theta$，方向沿斜面向上，此时摩擦力为零，故C对；当推力 $F>mg\sin\theta$ 时，摩擦力沿斜面向下，B对；当 $F<mg\sin\theta$ 时，摩擦力沿斜面向上，A对；当推力 $F=\frac{1}{2}mg\sin\theta$ 时，$F+F_f=mg\sin\theta$，$F_f=\frac{1}{2}mg\sin\theta$，∴ $F_f=F$. D对.

【答案】 A、B、C、D

例5 如图20所示，倾角为 θ 的斜面上放置一滑块 M，在滑块 M 上放置一个质量为 m 的物体，M 和 m 相对静止，一起沿斜面匀速下滑，下列说法正确的是(　　)

A. 甲图中物块 m 受到摩擦力

B. 乙图中物块 m 受到摩擦力

C. 甲图物块 m 受到水平向左的摩擦力

D. 乙图中物块 m 受到与斜面平行向上的摩擦力

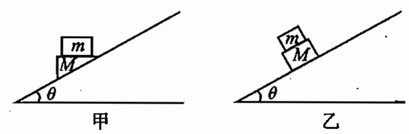


图 20

【巧解】 假设法

对甲：设 m 受到摩擦力，则物块 m 受到重力、支持力、摩擦力，而重力、支持力平衡.若受到摩擦力作用其方向由于与接触面相切，方向水平，则物体 m 受力将不平衡，与题中条件矛盾.故假设不成立. A、C错.

对乙：设物块 m 不受摩擦力，由于 m 匀速下滑，m 必受力平衡，若 m 只受重力、支持力作用，由于支持力与接触面垂直，故重力、支持力不可能平衡.假设不成立.由受力分析知：m 受到与斜面平行向上的摩擦力. B、D对

【答案】 B、D

例6 一个重为 G 的物体被悬挂后，再对物体施加一个大小一定的作用力 F($F<G$)，使物体在某一位置重新获得平衡，如图21所示，若不计悬线质量，求悬线与竖直方向的最大夹角 θ.

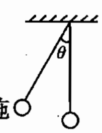


图 21

【巧解】 动态圆法

物体在三力作用下受力平衡，则三力必组成首尾相连的闭合三角形.因 F 的大小不变，方向改变；重力大小、方向均不变，拉力大小、方向改变；以重力 G 的顶端为圆心，以 F 的大小为半径画圆，各力的方位如图22所示，当 F 的末端在圆周上移动时，可直观看出：F 的方向改变过程中，只有当 F 的方向与 T 垂直时，θ 有最大值，且

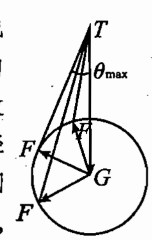


图 22

$\sin\theta_{max}=F/G$，即 $\theta_{max}=\arcsin(F/G)$

【答案】 $\theta_{max}=\arcsin(F/G)$

例7 固定在水平面上的光滑半球，如图23所示，球心 O 的正上方固定一小定滑轮，今将小球从初始位置缓慢拉到 B 点过程中，小球对半球压力 F，细线拉力 T 的大小变化情况是（　　）

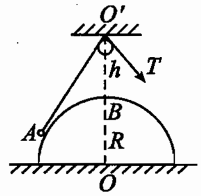


图 23

A. F 变大，T 变大

B. F 变小，T 变大

C. F 不变，T 变小

D. F 变大，T 不变

【巧解】 相似形法

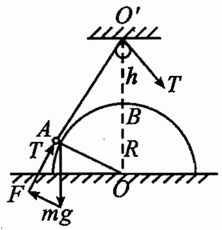


图 24

以小球 A 为研究对象，其受力如图24所示，由题意可知，缓慢拉动，小球 A 受力平衡，作出 A 受力的矢量三角形，由题可知：力的矢量三角形与几何三角形 $O'OA$ 相似，则对应边成比例：$\frac{F}{R}=\frac{G}{h+R}=\frac{T}{L_{O'A}}$，故 $F=\frac{R}{h+R}G$，$T=\frac{L_{O'A}}{h+R}G$. 随着 A 球逐渐接近 B 点，几何量中 $L_{O'A}$ 减小，h、R 不变，故 F 不变，T 减小.

【答案】 C

例8 均质小球 A，通过一条细线系在光滑墙上 B 点，如图25所示，O 为球心，小球静止，小球质量为 m. 求细线拉力 T，墙壁对球的支持力 F.

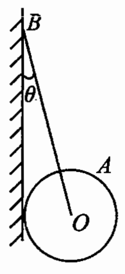


图 25

【巧解】 力的分解法

对于小球 A，受到三个力作用：重力 mg，绳拉力 T，墙壁支持力 F，如图26，将绳拉力按其作用效果分解为水平分力 T_x，竖直分力 T_y，则 $T_x=T\sin\theta$，$T_y=T\cos\theta$，由于小球受力平衡，故 $T_x=F$，$T_y=mg$. 故 $T=mg/\cos\theta$，$F=mg\tan\theta$

更多资料干货 关注微信公众号 学习第一线 赠送5000G学习大礼包

【答案】 $T=mg/\cos\theta$，$F=mg\tan\theta$.

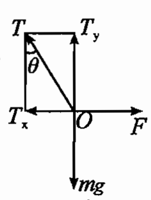


图 26

例9 用两根细线挂起质量为 m 的小球，细线 OA 与竖直方向夹角为30°如图27所示，则水平细线 OB 拉力 F 为多少？

【巧解】 力的合成法

小球受到三个力作用：重力 mg，水平绳拉力 F，绳 OA 的拉力 T. 在三个力的作用下，小球受力平衡，合力为零. 拉力 T 和重力 mg 的合力 F' 必与 F 平衡. 如图28所示，故 F' 方向水平向左，与重力垂直，在直角三角形中，$F'=mg\tan30°=\frac{\sqrt{3}}{3}mg$，即 $F=\frac{\sqrt{3}}{3}mg$

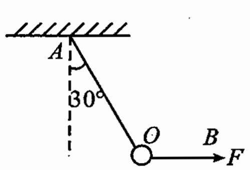


图 27

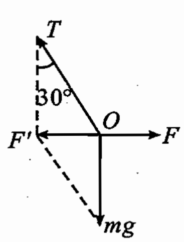


图 28

【答案】 $\frac{\sqrt{3}}{3}mg$

例10 两根长度相等的轻绳下端悬挂一个质量为 m 的物体，上端分别固定在天花板上 M、N 两点，且 MN 间距离为 S，如图29所示，已知两绳能承受的最大拉力为 T，则每根绳子的长度不得短于多少？

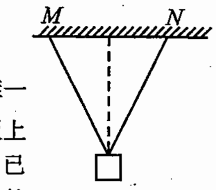


图 29

【巧解】 临界条件法

如图30所示，以结点 O 为研究对象，进行受力分析，共受三个力作用（重力 mg、两绳拉力 T'、T''）依据对称性有 $T'=T''$，根据题意，当 $T'=T$ 时，即为临界条件，设此时每根绳子长度为 L，绳与竖直方向夹角为 θ，由平衡条件得：$mg=2T\cos\theta$，由几何条件得：$\cos\theta=\sqrt{L^2-(S/2)^2}/L$，故绳子最短长度值 $L=TS/\sqrt{4T^2-m^2g^2}$

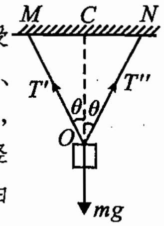


图 30

【答案】 $L=TS/\sqrt{4T^2-m^2g^2}$

例11 如图31，重为 G 的物体由一端固定在天花板上的轻绳 AC、BC 悬挂于 C 点，AC 与天花板的夹角为 α，BC 与天花板的夹角为 β，若将 BC 绳的悬点慢慢向右移，此过程中 C 点仍保持不变，则 AC、BC 绳的拉力分别如何变化？

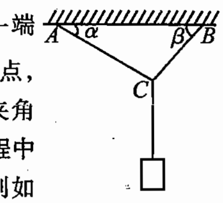


图 31

【巧解】 拉密定理法

如图32所示，结点 C 受三个力，易知 T_1、T_2 的夹角为 $(\alpha+\beta)$，T_1、T 的夹角为 $(90°-\alpha)$，T_2、T 的夹角为 $(90°-\beta)$. 由拉密定理得：$\frac{T_1}{\sin(90°-\beta)}=\frac{T_2}{\sin(90°-\alpha)}=\frac{G}{\sin[180°-(\alpha+\beta)]}$，解得：

$$T_1=\frac{G\cos\beta}{\sin(\alpha+\beta)}=\frac{G}{\sin\alpha+\cos\alpha\tan\beta},$$

$$T_2=\frac{G\cos\alpha}{\sin(\alpha+\beta)}$$

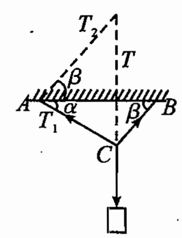


图 32

【答案】 当 B 点向右移动时 β 变小，$\tan\beta$ 变小，故 T_1 增大；若 $(\alpha+\beta)<90°$，β 变小，$\sin(\alpha+\beta)$ 变小，T_2 减小；若 $(\alpha+\beta)>90°$，β 变小，$\sin(\alpha+\beta)$ 增大，T_2 增大；若 $(\alpha+\beta)=90°$，$\sin(\alpha+\beta)=1$，T_2 有最小值，T_2 先减小，后增大.

例12 （上海高考题）两个半球壳拼成的球形容器，内部已抽成真空，球形容器的半径为 R，大气压强为 P，为使两半球壳沿图33中箭头方向互相分离，应施加的力 F 至少为（　　）

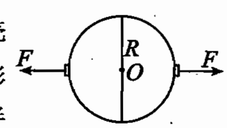


图 33

A. $4\pi R^2P$　　　　B. $2\pi R^2P$

C. πR^2P　　　　D. $\frac{1}{2}\pi R^2P$

【巧解】 等效法

本题重在考察等效的方法解决平衡问题. 本题涉及的是一个马德堡半球模型，由于球面上各部分对称位置所受大气压力

的竖直分量彼此平衡,水平方向分力方向一致.则左、右两半球受到大气压力等效为大气压对一个同样半径的圆板的压力.当半球抽成真空时,大气压对左、右两半球压力等值反向,大小为 $PS=P\pi R^2$. 故要将二半球分开,应施加的力 $F=\pi R^2P$

【答案】 πR^2P

例 13 如图 34 所示,一根轻弹簧上端固定,下端挂一个质量为 m_0 的平盘,盘中有一质量为 m 的物体,当盘静止时,弹簧的长度比其自然长度伸长了 L,今向下拉盘使弹簧再向下伸长 ΔL 后停止,放手后,设弹簧总在弹性限度以内,则刚刚松手时盘对物体的支持力等于(　　)

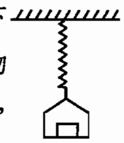


图 34

A. $(1+\frac{\Delta L}{L})mg$　　B. $(1+\frac{\Delta L}{L})(m+m_0)g$

C. $\frac{\Delta L}{L}mg$　　D. $\frac{\Delta L}{L}(m+m_0)g$

【巧解】 极限法

假设题给条件中 $\Delta L=0$,其意义是没有将盘往下拉,刚松手放开,弹簧不伸长,盘静止,盘对物体的支持力等于物体的重力 mg,以 $\Delta L=0$ 代入四个备选答案中,只有 A 正确.

【答案】 A

例 14 (2006·北京)木块 A、B 分别重 50N 和 60N,它们与水平地面之间的动摩擦因数均为 0.25;轻弹力簧夹在 A、B 间静止不动,弹力大小为 8N. 现用 F = 1N 的水平拉力作用在木块 B 上,如图 35 所示,力 F 作用后(　　)



更多资料干货 关注微信公众号 学习第一线 赠送5000G学习大礼包

图 35

A. 木块 A 所受摩擦力大小是 12.5N
B. 木块 A 所受摩擦力大小是 11.5N
C. 木块 B 所受摩擦力大小是 9N
D. 木块 B 所受摩擦力大小是 7N

【巧解】 隔离法

隔离 B,它的受力情况如图 36 示,由平衡条件得 $f=F+F_弹=9N$

【答案】 C

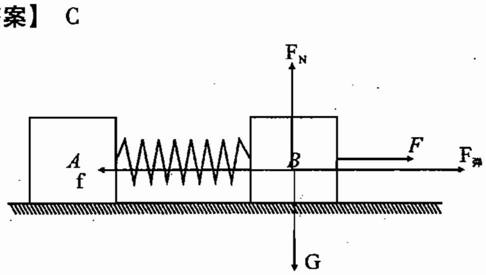


图 36

例 15 如图 37 所示,倾角为 θ 的斜面 B 上放着物块 A,现用平行于斜面的力 $F_拉$ 拉 A 匀速上滑,B 始终静止在地面上,求地面对 B 的摩擦力 F_f.

【巧解】 整体法　力的分解法

把 A、B 当成一个整体,受力如图 38 所示,由于 A、B 均受力平衡,则 A、B 构成的整体受力平衡,$\Sigma F_x=0$,故 $F_f=F_拉\cdot\cos\theta$

【答案】 $F_f=F_拉\cdot\cos\theta$.

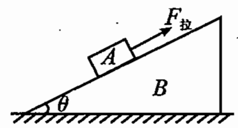


图 37

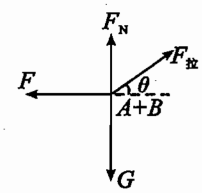


图 38

例 16 如图 39 所示,重力为 G 的木块与水平地面间的动摩擦因数为 μ,一人欲用最小的作用力 F 使木块在水平地面上作匀速运动,则此最小作用力的大小和方向如何?

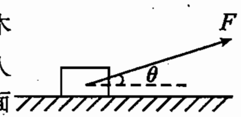


图 39

【巧解】 正交分解法

以物体为研究对象,对物体进行受力分析如图 40,其中 θ 为力 F 的方向角,对 F 进行正交分解. 据平衡条件有:$F\cos\theta=F_f$,$F\sin\theta+N=G$,$F_f=\mu N$,由以上三式解得:$F=\frac{\mu G}{\cos\theta+\mu\sin\theta}$,设 $\cos\varphi=\frac{\mu}{\sqrt{1+\mu^2}}$,得 $F=\frac{\mu G}{\sqrt{1+\mu^2}\sin(\theta+\varphi)}$,$\theta+\varphi=90°$,即 $\theta=90°-\varphi$,得 $\theta=\arccos\frac{1}{\sqrt{1+\mu^2}}$时,$F_{min}=\frac{\mu G}{\sqrt{1+\mu^2}}$

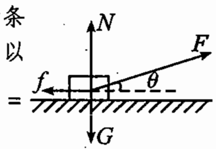


图 40

【答案】 略.

例 17 如图 41 所示,重为 G 的球用细线 AO 悬挂于斜面上的 A 点,O 为球心,以 L 表示细线 AO 的长度,细线与斜面间的夹角为 θ,斜面的倾角为 α,求斜面对球的支持力大小.

【巧解】 转化法

由于 G、N、T 三力平衡,则此三力对 A 点的合力矩也应为零,故有:$GL\cos(\alpha-\theta)-NL\cos\theta=0$,所以 $N=\frac{G\cos(\alpha-\theta)}{\cos\theta}$.

这种将共点力的平衡问题转化为力矩平衡问题来求解,最大的优点是使某些与解题无关的力不出现在方程中,从而使过程得以简化.

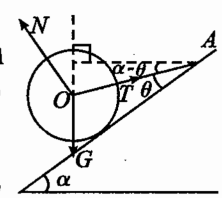


图 41

【答案】 $N=\frac{G\cos(\alpha-\theta)}{\cos\theta}$.

例 18 如图 42 所示,小车上固定着一根弯成 α 角的曲杆,杆的另一端固定一个质量为 m 的球,试探究曲杆对球的弹力与小车加速度的关系.

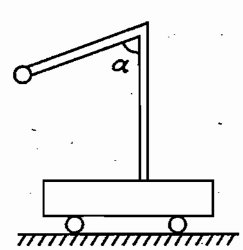


图 42

【巧解】 图解法

研究对象:小球.

受力分析如图 43 所示.

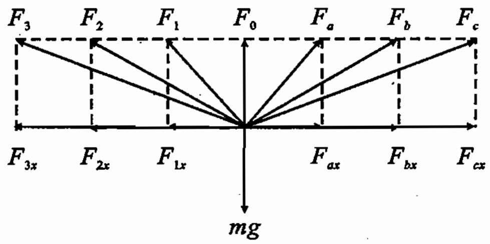


图 43

规定向右为加速度的正方向.

Ⅰ.曲杆对球的弹力与小车加速度的定性关系:

①当小车的加速度 $a>0$ 时,曲杆对球的弹力可能为图中的 F_a、F_b、F_c……

②当小车的加速度 $a=0$ 时,曲杆对球的弹力一定为图中的 F_0.

③当小车的加速度 $a<0$ 时,曲杆对球的弹力可能为图中的 F_1、F_2、F_3……

Ⅱ.曲杆对球的弹力与小车加速度的定量关系:

$F=\sqrt{(mg)^2+(ma)^2}$

例 19 轻绳子一端挂在天花板上,一端系住小球,小球质量为 m,在力 F 的作用下使摆球偏离平衡位置 θ 角度,如图 44 所示.试求维持这种平衡状态的力 F 的最小值.

更多资料干货 关注微信公众号 学习第一线 赠送5000G学习大礼包



图 44

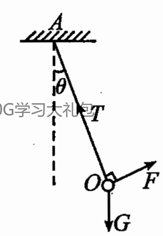


图 45

【巧解】 转化法

将轻绳与球和为一个以 A 点为转轴的系统,小球受到轻绳拉力 T、重力 G 和力 F 作用而平衡.如图 45 所示,这三个力对 A 点的合力矩应为零.而 T 的作用线过转轴,它对 A 点的力矩为零.所以重力对 A 点的力矩大小应与 F 对 A 点力矩大小相等.设绳长为 L,当 θ 角一定时,重力对 A 点力矩为 $GL\sin\theta$ 就为一定值.要使 F 最小,就要使 F 的力臂最长,显然 F 必垂直 T.故 $GL\sin\theta=FL$,得:$F=G\sin\theta$.

例 20 (2010 江苏卷)如图 46 所示,置于水平地面的三脚架上固定着一质量为 m 的照相机,三脚架的三根轻质支架等长,与竖直方向均为 30°角,则每根支架中承受的压力大小为( )

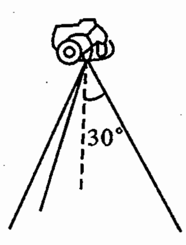


图 46

A. $\frac{1}{3}mg$ B. $\frac{2}{3}mg$

C. $\frac{\sqrt{3}}{6}mg$ D. $\frac{2\sqrt{3}}{9}mg$

【巧解】 对称法 分解法 合成法

设 F 为每根支架对照相机的支持力.因为三角架具有空间对称性,又因为每根支架均与竖直方向成 30°角,有 $3F\cos30°=mg$,即 $F=\frac{2\sqrt{3}}{9}mg$.依据牛顿第三定律得每根支架承受的压力大小为$\frac{2\sqrt{3}}{9}mg$.

【答案】 D

例 21 如图 47 所示,长为 5m 的细绳的两端分别系于竖直在地面上相距为 4m 的两杆的顶端 A、B,绳上挂一个光滑的轻质挂钩,其下连着一个重为 12N 的物体,平衡时,绳中的张力 $T=$________.

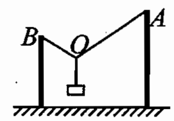


图 47

【巧解】 对称法

"光滑"的挂钩,说明绳上张力 $T_{OB}=T_{OA}$,沿水平方向必有 $T_{OBX}=T_{OAX}$,故有 $\alpha=\beta$.如图 48 所示,过 O 点作水平线 DC,由于图形的对称性,$OB'=OB$,所以 $AB'=5\text{m}$,$\cos\beta=\frac{4}{5}$,在竖直方向有 $2T_{OA}\sin\beta=12\text{N}$,故 $T_{OA}=10\text{N}$.

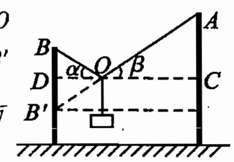


图 48

【答案】 10N

例 22 在粗糙水平面上放着一个质量为 m 的三角形木块 abc,在它的两个粗糙斜面上分别放有质量为 m_1 和 m_2 的两个物体,$m_1>m_2$,如图 49 所示.若三角形木块和两物体都是静止的,则粗糙水平面对三角形木块( )

A. 有摩擦力的作用,摩擦力的方向水平向右

B. 有摩擦力的作用,摩擦力的方向水平向左

C. 有摩擦力的作用,但摩擦力的方向不能确定,因 m_1、m_2、θ_1、θ_2 的数值均未给出

D. 以上结论都不对

【巧解】 整体法

由于三角形木块和斜面上的两物体都静止,可以把它们看成一个整体,如图 50 所示.竖直方向整体受到重力 $(m+m_1+m_2)g$ 和支持力 F_N 作用处于平衡状态,水平方向无任何滑动趋势,因此不受地面的摩擦力作用.

【答案】 D

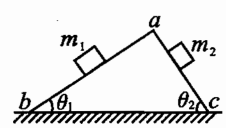


图 49

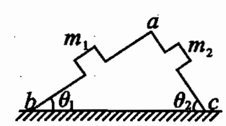


图 50

例 23 如图 51 所示,在 O 点位置不变的情况下使 B 点由 D 点向右移动(OB 绳长变长),θ 角不变且为已知,当 β 角满足什么条件时,OB 绳上的张力最小?

【巧解】 转化法

若应用共点力平衡条件 $F_合=0$ 求解,将特别复杂,现转化为用力矩平衡求解.设 O 点为 AO 绳的一个端点,则 AO 绳受力情

况如图所示. 天花板 A 点对绳 AO 的作用力 T_A 对 A 点的力矩为零,O 点受到的 T_C(大小等于物体重力 G)和 T_B 对 A 点的力矩不为零,由力矩平衡,有 $T_B\cdot\overline{AO}\cos\alpha=T_C\cdot\overline{AO}\cos\theta$,$T_B=\dfrac{T_c\cos\theta}{\cos\alpha}=\dfrac{G\cos\theta}{\cos\alpha}$,由于 G、θ 一定,当 $\cos\alpha=1$ 时,

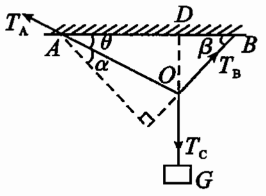


图 51

T_B 有最小值 $G\cos\theta$. 即 $\alpha=0$、或 $BO\perp AO$,亦即当 $\beta=90°-\theta$ 时,BO 绳上张力有最小值.

【答案】 略.

例 24 在两个互成角度的共点力合成实验中,用 M、N 两个测力计拉橡皮条的结点 P,使其位于 E 处,如图 52 所示. 此时 $\alpha+\beta=90°$. 然后保持 M 的示数不变,当 α 角由图中所示逐渐减小时,要使结点仍在 E 处,可以采用的办法是(　　)

A. 增大 N 的示数,减小 β 角

B. 减小 N 的示数,减小 β 角

C. 减小 N 的示数,增大 β 角

D. 增大 N 的示数,增大 β 角

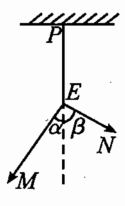


图 52

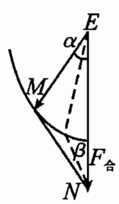


图 53

学习第一线 赠送5000G学习大礼包

【巧解】 动态圆法

由于橡皮条结点位置不变,则 M、N 的合力 F 保持不变. 以 E 为圆心,测力计 M 的示数为半径作一圆弧,如图 53 所示. M 的示数不变,α 角逐渐减小时,就是将 M 矢量末端沿圆弧向下运动,如图中虚线所示. 由图可知,测力计 N 的示数在减小,β 角减小.

【答案】 B

例 25 (2009 北京卷)如图 54 所示,将质量为 m 的滑块放在倾角为 θ 的固定斜面上. 滑块与斜面之间的动摩擦因数为 μ. 若滑块与斜面之间的最大静摩擦力和滑动摩擦力大小相等,重力加速度为 g,则(　　)

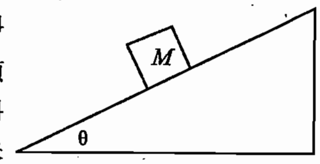


图 54

A. 将滑块由静止释放,如果 $\mu>\tan\theta$,滑块将下滑

B. 给滑块沿斜面向下的初速度,如果 $\mu<\tan\theta$,滑块将减速下滑

C. 用平行于斜面向上的力拉滑块向上匀速滑动,如果 $\mu=\tan\theta$,拉力大小应是 $2mg\sin\theta$

D. 用平行于斜面向下的力拉滑块向下匀速滑动,如果 $\mu=\tan\theta$,拉力大小应是 $mg\sin\theta$

【巧解】 推理法

本题的推理基点是:当 $\mu=\tan\theta$ 时,物块恰能沿斜面匀速下滑.

①如果 $\mu>\tan\theta$,将滑块由静止释放,滑块将一直静止在斜面上(给滑块沿斜面向下的初速度,滑块将作匀减速直线运动);

②如果 $\mu<\tan\theta$,将滑块由静止释放,滑块将沿斜面向下作匀加速直线运动(给滑块沿斜面向下的初速度,滑块将匀加速下滑);

③如果 $\mu=\tan\theta$,用平行于斜面向上的力拉滑块向上匀速滑动,拉力大小应是 $2mg\sin\theta$;

④如果 $\mu=\tan\theta$,用平行于斜面向下的力拉滑块,滑块必将加速下滑,不可能匀速下滑.

【答案】 C

第十四章　物体的平衡综合测试

一、本题共10小题，每小题4分，共40分，在每个小题给出的四个选项中，有的小题只有一个选项正确，有的小题有多个选项正确. 全部选对的得4分，选不全的得2分，有选错或不答的得0分.

1. 一个物体在三个力的作用下处于平衡状态，则下列说法正确的是(　　)

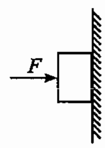
A. 三个力必然是共点力

B. 三个力不是共点力

C. 如果其中两个力作用线相交于一点，则第三个力作用线必然过这一点

D. 三个力的合力可能不为零

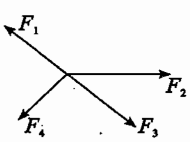
2. 如图所示，在水平力 F 作用下，重为 G 的物体沿竖直墙匀速下滑，若物体与墙之间的动摩擦因数为 μ，则物体所受摩擦力的大小为(　　)



A. μF　　B. $\mu F+G$

C. G　　D. $\sqrt{F^2+G^2}$

3. 如图所示，一个物体在四个共点力作用下处于平衡状态. 当 F_1、F_2、F_3 三个力保持不变，F_4 的大小不变，方向顺时针转过90°时，物体所受合力的大小是(　　)

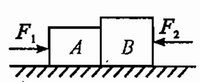


更多资料下载 关注微信公众号 学习第一线 赠送5000G学习大礼包

A. $\frac{\sqrt{2}}{2}F_4$　　B. $\sqrt{2}F_4$

C. $2F_4$　　D. $\frac{1}{2}F_4$

4. 如图所示，A 和 B 两物体相互接触，并静止在水平面上，现有两个水平推力 F_1、F_2 分别作用于 A、B 上，A、B 两物体仍保持静止，则 A、B 之间的作用力大小是(　　)



A. 一定等于零　　B. 不等于零，但小于 F_1

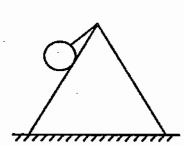
C. 一定等于 F_1　　D. 可能等于 F_2

5. 下列几组共点力，分别作用在一个物体上，有可能使物体做匀速直线运动的是(　　)

A. 4N、5N、7N　　B. 3N、4N、8N

C. 2N、9N、5N　　D. 5N、7N、1N

6. 一只小球挂在三角形木块的左侧面，如右图所示，球与木块均保持静止，则(　　)



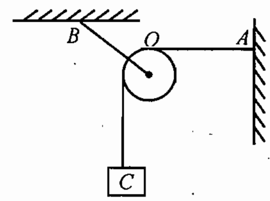
A. 地面对木块的摩擦力向左

B. 地面对木块的摩擦力向右

C. 地面对木块无摩擦力

D. 若地面光滑，挂上球后木块一定滑动

7. 如右图所示，质量不计的定滑轮以轻绳挂在 B 点，另一条轻绳一端系重物 C，绕过滑轮后，另一端固定在墙上 A 点，若改变 B 点位置，定滑轮位置发生移动，但使 AO 段绳始终保持水平，则可以判断悬点 B 所受拉力 F 的大小情况是(　　)



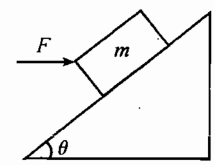
A. 若 B 左移，F 将增大

B. 若 B 右移，F 将增大

C. 无论 B 左移、右移，F 都保持不变

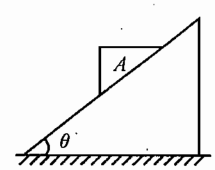
D. 无论 B 左移、右移，F 都减小

8. 如右图所示，物体 m 受水平推力且静止在斜面上，若将 F 增大，而且仍使 m 保持静止状态，则斜面对物体的静摩擦力不可能(　　)



A. 增大　　B. 减小　　C. 变为零　　D. 不变

9. 如右图所示，固定不动的斜面上放一物体 A，恰能在斜面上保持静止，如果在物体 A 的水平上表面再轻放一重物，下列说法正确的是(　　)



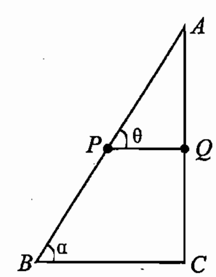
A. 物体 A 将开始加速下滑

B. 物体 A 仍保持静止

C. 物体 A 所受摩擦力不变

D. 物体 A 所受合力增大

10. 如图所示，用光滑的粗铁丝做成一直角三角形，BC 水平，AC 边竖直，$\angle ABC=\alpha$，AB 及 AC 两边上分别套有细线套着的铜环，当它们静止时，细线跟 AB 所成的角 θ 的大小为(细线长度小于 BC)(　　)



A. $\theta=\alpha$

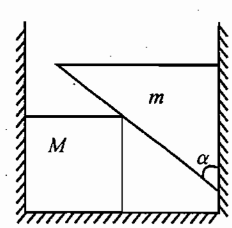
B. $\theta>\frac{\pi}{2}$

C. $\theta<\alpha$

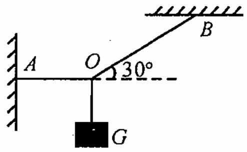
D. $\alpha<\theta<\frac{\pi}{2}$

二、本题共6小题，每小题4分，共24分. 把答案填在题中的横线上.

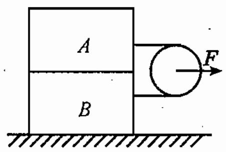
11. 一个质量为 m，顶角为 α 的直角劈和一个质量为 M 的正方体放在两竖直墙之间，如右图所示，则两物体之间的压力为________，地面对正方体的支持力为________，竖直墙对正方体的压力为________.



12. 如右图所示，细线 AB 两端分别固定在墙上和天花板上，在 O 点系住重物 G，处于平衡时 AO 保持水平，BO 与水平成 30° 角，已知细线最大只能承受 200N 的拉力，则在 O 点悬挂的重物 G 不能超过________N，如果重物 G 再增加，细绳的________段必先断.

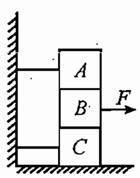


13. 如图所示，物体 A、B 的质量均为 6kg，各接触面间的动摩擦因数均为 0.3，水平力 $F=30$N，那么 A、B 间摩擦力大小为________N，桌面对 B 的摩擦力大小为________N.（滑轮和绳的质量均不计，g 取 10N/kg）

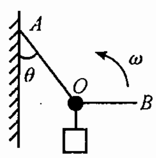


14. 质量为 10kg 的物体放在粗糙的木板上，当木板与水平面的倾角为 37°时，物体恰好可以匀速下滑，则物体与木板间的动摩擦因数是________，当木板与水平面的倾角改为 30°时，物体受到的摩擦力为________N.

15. 有三个质量均为 m 的物体叠放在水平桌面上，物体之间的动摩擦因数为 μ，用水平绳子固定物体 A 和 C 不动，以水平向右的力 F 把物体 B 匀速抽出，如图所示，则力 F 的大小为________.



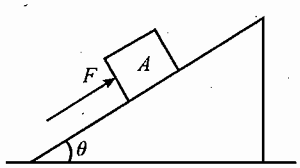
16. 如图所示，AO 和 BO 绳悬吊一重物，现将绳 BO 由水平位置缓慢转到竖直，该过程中保持 AO 绳与竖直方向的夹角 θ 不变，则 AO 受到的拉力的变化情况是________，BO 绳受到的拉力的变化情况是________.



更多资料干货关注微信公众号学习第一线 赠送5000G学习大礼包

三、本题共 4 小题，共 56 分，解答应写出必要的文字说明、方程式或重要演算步骤，只写出最后答案的不能得分，有数值计算的题，答案中必须明确写出数值和单位

17.（14 分）如图所示，重力为 500N 的物体 A 放在倾角为 $\theta=30°$ 的斜面上，斜面对物体 A 的最大静摩擦力的大小为 100N，为了使物体能够静止在斜面上，必须对物体施加一个沿斜面向上的推力 F，求该推力 F 的取值范围.

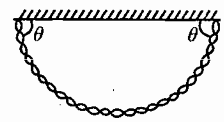


18.（14 分）有一小甲虫，在半径为 r 的半球形碗中向上爬，设虫足与碗壁的摩擦因数为 $\mu=0.75$，试问它能爬到的最高点离碗底多高？

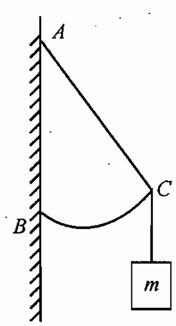
19.（14 分）如图所示，重力 G 的匀质链条挂在等高的两钩上，并且两端与水平方向成 θ 角，试求：

（1）链条两端受的力；

（2）链条最低处的张力.



20.（14 分）如图所示，AC 为轻绳，BC 为弯曲的硬杆，质量忽略不计，B 端用铰链连接于竖直墙上，$AB=AC$，当 C 端挂一质量为 m 的物体时，绳 AC 的拉力为多大？





第十五章

恒定电流

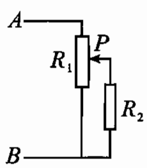
难点巧学

一、巧记常见的电阻连接规律

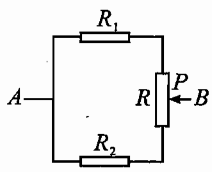
(1)串联或并联或混联电路的总电阻,若只有一个电阻变化,总是随其中任一电阻的增大而增大、减小而减小(谁大都大,谁小都小).

(2)分压器电路的阻值:如图甲所示,当 R_1 的串联部分阻值 R_{AP}增大时,总电阻 R_{AB}增大. R_{AP}减小时,总电阻 R_{AB}减小(头 R_{AP}大就大,头小就小).

(3)双臂环路的阻值:如图乙所示,当 AR_1P 支路和 AR_2P 的总阻值相等时,R_{AB}最大,当滑到某端,使支路阻值最小时,R_{AB}最小(和平就大,极端就小).



甲



乙

二、巧用"串反并同"规律解决电路的动态变化及故障问题

更多资料干货 关注微信公众号 学习第一线 赠送5000G学习大礼包

1. 闭合电路的欧姆定律:$I=\dfrac{E}{R+r}$,在电路分析时,一般认为 E 和 r 是不变的. 最活跃的是 R,当电路中某一电阻发生变化时,整个电路各部分的电流、电压和功率都将变化,对于电路中判断电流表、电压表示数变化及电路故障问题用"串反并同"规律简单明了.

"串反并同"规律:在电源内阻不可忽略的电路中,若某一电阻增大,则与它串联或间接串联的电阻中的电流、两端电压、电功率都将减小,即"串反". 若某一电阻增大,则与它并联或间接并联的电阻中的电流、两端电压、电功率都增大,即"并同"(如例2、例4).

2. 另外极限法可解决变阻器滑片滑动引起电阻的变化问题,可将滑动端分别滑至两个极端讨论,特殊值法可解决双臂环路问题.

三、巧用闭合电路中能量的转化

1. 闭合电路内、外功率关系:$EI=I^2R+I^2r$

2. 电源输出功率与负载关系:当 $R_外=r$ 时,$P_出$ 最大,$P_出=\dfrac{E^2}{4r}$,效率为50%(只适用于电源确定而外电阻可选择的情形,否则会出错)(如例6、例7);当 $R_外<r$ 时,R 增大,$P_出$ 增大;R 减小,$P_出$ 减小;当 $R_外>r$ 时,R 增大,$P_出$ 减小;R 减小,$P_出$ 增大.

四、巧记伏安法测电阻内、外接法与变阻器的两种接法

1. 伏安法测电阻

直接比较法:当 $R_x \gg R_A$ 用内接法,当 $R_x \ll R_V$ 用外接法.

临界值计算法:当 $R_x>\sqrt{R_AR_V}$用内接法,当 $R_x<\sqrt{R_AR_V}$用外接法.

内、外接法误差:内接法:$R_测>R_真$. 外接法:$R_测<R_真$.

【巧记】 大内偏大,小外偏小(接法与误差).

2. 变阻器的连接

通常变阻器以限流式接法为主,但在以下三种情况下,必须选择分压式接法.

(1)回路中某部分电路电压要求从零开始连续变化.

(2)变阻器电阻远小于被测电阻或电路中串联的其他电阻阻值.

(3)题目所提供的实验仪器最大允许电流、电压不够.

【巧记】 一零二小三不够.

活 题 巧 解

例1 如图1所示,滑动变阻器 AB 的总阻值与图中电阻 R 的阻值相等,电源的电动势为 E,内阻不计,当滑动触头 C 从右端 A 点开始一直滑到 B 点为止的过程中,下列说法正确的是( )

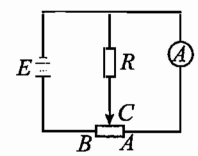


图1

A. 电流表的读数逐渐增大

B. 电流表的读数逐渐减小

C. 电流表的读数先减小,后增大到原值

D. 电流表的读数先增大,后减小到原值

【巧解】 特殊值法

当滑动触头分别在 A 与 B 端时,电流相等,均为$\dfrac{E}{R}$,当滑动触头在 AB 的中点时,电流等于$\dfrac{4E}{5R}$,因此滑动触头从 A 端移到 B 端的过程中,电流表的读数先变小再变大到原值.

【答案】 C

例2 如图2所示电路中,由于某一电阻断路,致使电压表和电流表的示数均比该电阻未断路时要大,则这个断路的电阻可能是( )

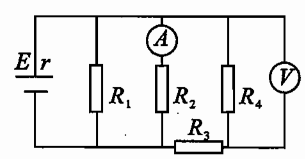


图2

A. R_1　　B. R_2　　C. R_3　　D. R_4

【巧解】 模式法

在电源内阻不可忽略的电路中,若某一电阻增大,则与它串联或间接串联的用电器的电流、两端电压、电功率都将减小,即"串反". 若某一电阻增大,则它与并联或间接并联的用电器的电流、两端电压、电功率都将增大,即"并同". 本题据"串反并同"规律:电阻 R_1、R_4 分别与电压表和电流表并联,故 R_1、R_4 断路时,电压表和电流表均增大.

【答案】 A、D

例3　如图3中 $R_1=10\Omega$，$R_2=8\Omega$，电池有内阻，当开关 S 接1时，电压表示数为2V，则当开关 S 接2时，电压表的示数可能为(　　)

A. 2.2V　　B. 1.9V

C. 1.7V　　D. 1.4V

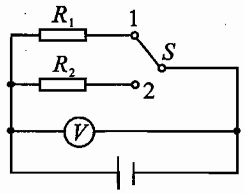


图3

【巧解】　极限分析法

根据电路分压原理可知：$U_V=\dfrac{R}{R+r}E$，当开关 S 接1时，即为 $2=\dfrac{10}{10+r}E$，当开关 S 接2时，即为 $U_V=\dfrac{8}{8+r}E$，由以上二式可得 $U_V=\dfrac{80+8r}{40+5r}V$. 根据极限分析法：电池内阻最大趋于无穷大，最小趋于零，当 $r\to$无穷大时，U_V 有最小值1.6V；当 $r\to 0$ 时，U_V 有最大值2V，即电压表示数为 $1.6V<U_V<2V$.

【答案】　B、C

例4　如图4所示电路，电源的内阻为 r，A、B 两灯正常发光，如果突然出现灯 A 变暗、灯 B 变亮的情况，则故障出现在(　　)

A. R_1 断路

B. R_2 断路

C. R_3 断路

D. 以上三种判断都不正确

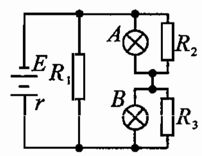


图4

【巧解】　模式法

本题据“串反并同”规律：当与A灯串联的电阻 R_3 阻值增大时，灯A将变暗即“串反”、灯B将变亮即“并同”.

【答案】　C

例5　(2003·上海)如图5电路由八个不同电阻组成，已知 $R_1=12\Omega$，其它电阻未知. 测得 AB 总电阻为 4Ω. 如将 R_1 换成 6Ω，则 AB 间总电阻变为(　　)

更多资料干货 关注微信公众号 学习第一线 赠送5000G学习大礼包

A. 6Ω　　B. 12Ω

C. 3Ω　　D. 8Ω

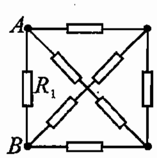


图5

【巧解】　整体法

设其余7个电阻连接后的总电阻为 R_x，则：$R_{AB}=\dfrac{R_1R_x}{R_1+R_x}$将 $R_{AB}=4\Omega$，$R_1=12\Omega$ 代入得：$R_x=6\Omega$，∴将 R_1 换为 6Ω 时，AB 间总电阻 $R_{AB}'=\dfrac{R}{2}=3\Omega$.

【答案】　C

例6　如图6，已知电源内阻 $r=2\Omega$，定值电阻 $R_1=0.5\Omega$，要使变阻器消耗的功率最大与电源输出功率最大，则滑动变阻器的阻值分别为(　　)

A. $0.5\Omega, 1.5\Omega$　　B. $2.5\Omega, 1.5\Omega$

C. $5\Omega, 2.5\Omega$　　D. $7.5\Omega, 2.5\Omega$

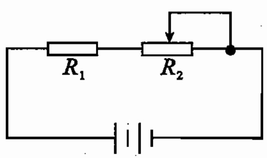


图6

【巧解】　等效法

“外电阻等于内电阻($R=r$)时，外电路上的电功率有最大值”. 故将电阻 R_1 等效到电源内部，则当变阻器的阻值 $R_2=R_1+r=0.5+2=2.5\Omega$ 时，变阻器消耗的功率最大. 当 $R_1+R_2'=r$，$R_2'=r-R_1=2-0.5=1.5\Omega$ 时，电源输出功率最大.

【答案】　B

例7　有四个电源，电动势均为8V，内阻分别为 1Ω、2Ω、4Ω、8Ω，今要对 $R=2\Omega$ 的电阻供电，问选择内阻为多大的电源才能使R上获得的功率最大？(　　)

A. 1Ω　　B. 2Ω　　C. 4Ω　　D. 8Ω

【巧解】　推理法

“外电阻等于内电阻($R=r$)时，外电路上的电功率有最大值”只适用于电源确定而外电阻可选择，而本题属外电阻确定而电源可选，两者意义不同，不可混为一谈. 故由 $P=I^2R$ 可知，R 上消耗的功率 $P=(\dfrac{E}{R+r})^2R=2(\dfrac{8}{2+r})^2$，所以当 r 取 1Ω 时 P 有最大值，R 上获得的功率最大.

【答案】　A

例8　(2010新课标全国卷)电源的效率 η 定义为外电路电阻消耗的功率与电源的总功率之比. 在测电源电动势和内电阻的实验中得到的实验图线如图7所示，图中 U 为路端电压，I为干路电流，a、b 为图线上的两点，相应状态下电源的效率分别为 η_a、η_b. 由图可知 η_a、η_b 的值分别为(　　)

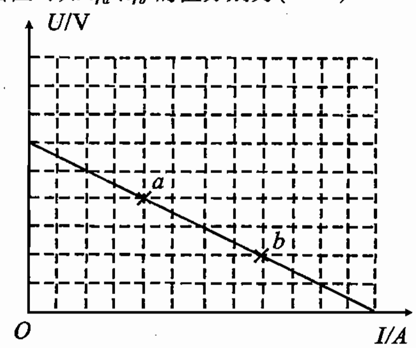


图7

A. $\dfrac{3}{4}$、$\dfrac{1}{4}$　　B. $\dfrac{1}{3}$、$\dfrac{2}{3}$

C. $\dfrac{1}{2}$、$\dfrac{1}{2}$　　D. $\dfrac{2}{3}$、$\dfrac{1}{3}$

【巧解】　图像法

电源的效率为 $\eta=\dfrac{UI}{EI}\times100\%=\dfrac{U}{E}\times100\%$，由 $U-I$ 图易得 $\eta_a=\dfrac{2}{3}$，$\eta_b=\dfrac{1}{3}$.

【答案】　D

例9　如图8所示，设 $R_1=R_2=R_3=R_4=R$，求开关 S 闭合和断开时，A、B 两端的电阻之比.

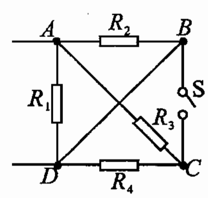


图8

【巧解】　等效电路图法　等势法

当开关 S 闭合时，节点有 A、B、C、D，据同一根导线上各点电势相等，所以 B、C、D 可认为是同一点，设电流从 A 流向 B，则 A 为高电势点，B、C、D 为低电势点，所以电路简化如图9，R_1、R_2、R_3 并联，$R_{AB}=\dfrac{1}{3}R$.

当开关 S 断开时仍设电流从 A 流向 B，则按电势高低排列为 $A\to C\to D$ 或 B，所以电流流向是 $A\to C\to D$，电路的简化如图10，易算出总电阻 $R_{AB'}=\dfrac{2}{5}R$. 故 $R_{AB'}/R_{AB}=6/5$.

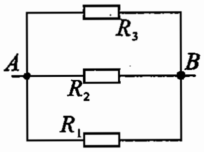


图 9

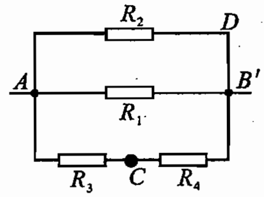


图 10

例 10 如图 11 是一个电路的一部分,其中 $R_1=5\Omega$,$R_2=1\Omega$,$R_3=3\Omega$,$I_1=0.2A$,$I_2=0.1A$,那么电流表测得的电流为(　　)

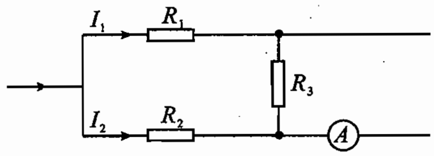


图 11

A.0.2A,方向向右　　B.0.15A,方向向左

C.0.2A,方向向左　　D.0.3A,方向向右

【巧解】 等势法

由图示电流方向可计算出 R_1 和 R_2 两端电压降 $U_1=1.0V$,$U_2=0.1V$,电势左高右低,比较 U_1,U_2 可判定 R_3 两端电势下高上低,$U_3=0.9V$,通过 R_3 中的电流 $I_3=U_3/R_3=0.3A$ 的电流,向上流,由图可知 R_3 上电流由 I_2 和 I_A 共同提供的,$I_A=0.2A$,方向向左.

【答案】 C

例 11 (2007 广东卷)压敏电阻的阻值随所受压力的增大而减小,有位同学利用压敏电阻设计了判断小车运动状态的装置,其工作原理如图 12(甲)所示,将压敏电阻和一块挡板固定在绝缘小车上,中间放置一个绝缘重球. 小车向右做直线运动过程中,电流表示数如图 12(乙)所示,下列判断正确的是(　　)

更多资料干货 关注微信公众号 学习第一线 赠送5000G学习大礼包

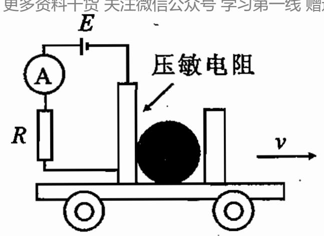


图 12(甲)

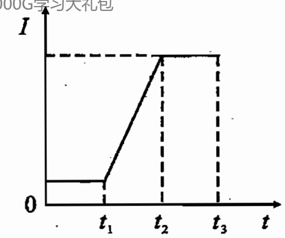


图 12(乙)

A. 从 t_1 到 t_2 时间内,小车做匀速直线运动

B. 从 t_1 到 t_2 时间内,小车做匀加速直线运动

C. 从 t_2 到 t_3 时间内,小车做匀速直线运动

D. 从 t_2 到 t_3 时间内,小车做匀加速直线运动

【巧解】 推理法

$0\sim t_1$,I 恒定→压敏电阻阻值不变→小车可能匀速直线运动也可能匀加速直线运动;

$t_1\sim t_2$,I 均匀变大→压敏电阻阻值均匀变小→小车做变加速直线运动;

$t_2\sim t_3$,I 恒定→压敏电阻阻值不变→匀加速直线运动.

【答案】 D

例 12 如图 13 所示的电路中,电阻 $R_1=R_2$,外加电压 U 保持不变,在双刀双掷开关分别掷向 3、6 位置和掷向 1、4 位置两种情况下,电路在单位时间里放出的总热量之比是(　　)

A.4:1　　B.1:4　　C.2:1　　D.1:2

【巧解】 比值法

当双刀双掷开关掷向 3、6 位置,R_1 与 R_2 并联,当双刀双掷开关掷向 1、4 位置,R_1 与 R_2 串联. 故 $Q_1/Q_2=\dfrac{2R}{R/2}=\dfrac{4}{1}$

【答案】 A

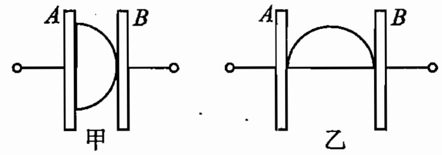


图 14

例 13 如图 14 所示,P 为一块均匀的半圆形电阻合金薄片,先将它按图甲的方式接在电极 AB 之间,测得它的电阻为 R,然后将它按图乙的方式接在 AB 电极之间,此时 P 的阻值为(　　)

A. R　　B. 2R　　C. 3R　　D. 4R

【巧解】 补缺法

在图甲中,设想给半圆合金片补上半圆,使它成为一个整圆片,其总电阻为两个半圆电阻的串联值,即 $R_总=2R$. 在图乙中,也设想给半圆合金片补上半圆,使它成为一个整圆片,其电阻值也是 2R,但乙图补后的电阻为两个半圆电阻的并联值,即 $R'/2=2R$,故 $R'=4R$.

【答案】 D

例 14 如图 15 所示,直线 A 为电源的 U-I 图线,直线 B 为电阻 R 的 U-I 图线;用该电源和电阻组成的闭合电路,电源输出功率和电路的总功率分别是(　　)

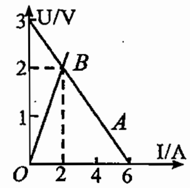


图 15

A. 4W,8W　　B. 2W,4W

C. 4W,6W　　D. 2W,3W

【巧解】 图象法

由电源 U-I 图线可求 $E=3V$,$r=3V/6A=0.5\Omega$.

由电阻的 U-I 图可求:$R=U/I=1\Omega$,据闭合电路欧姆定律得 $I=E/(R+r)=2A$,由功率的公式得:

$P_{输出}=I^2R=4W$,$P_总=EI=6W$.

【答案】 C

例 15 (2007 宁夏卷)在如图 16 所示的电路中,E 为电源电动势,r 为电源内阻,R_1 和 R_3 均为定值电阻,R_2 为滑动变阻器. 当 R_2 的滑动触点在 a 端时合上开关 S,此时三个电表 A_1、A_2 和 V 的示数分别为 I_1、I_2 和 U. 现将 R_2 的滑动触点向 b 端移动,则三个电表示数的变化情况是(　　)

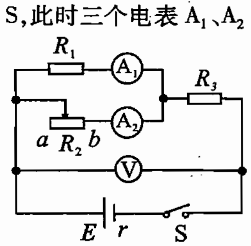


图 16

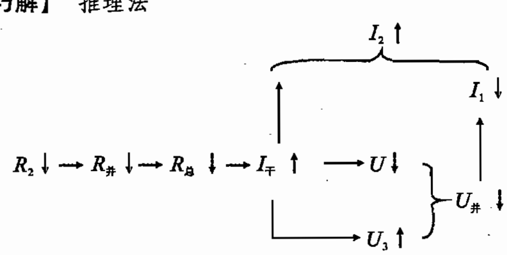
A. I_1 增大,I_2 不变,U 增大

B. I_1 减小,I_2 增大,U 减小

C. I_1 增大,I_2 减小,U 增大

D. I_1 减小,I_2 不变,U 减小

【巧解】 推理法



【答案】 B

例16 如图 17 所示电路中，各电阻阻值已标出，当输入电压 $U_{AB}=110V$ 时，输出电压 $U_{CD}=$________V.

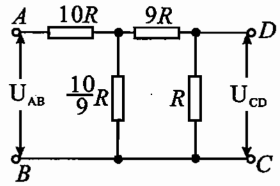


图 17

【巧解】 假设法

设电阻 R 上输出电压 $U_R=1V$，由串联分压知，阻值为 $9R$ 的电阻上的电压为 9V，故并联部分的电压为 10V，因并联部分电阻：$R'=R$，又由串联分压得阻值为 $10R$ 的电阻上的电压为 100V，所以要求的输入电压 $U_{AB}=100V+10V=110V$，它正好符合题中条件，可知电阻 R 上的输出电压确为 1V.

【答案】 1V

例17 如图 18 滑动变阻器的滑片 P 从 a 滑向 b 的过程中，三只理想电压表的读数变化的绝对值分别 $\Delta U_1,\Delta U_2,\Delta U_3$，下列各值可能出现的是(　　)

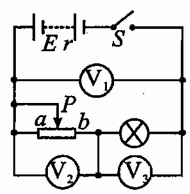


图 18

A. $\Delta U_1=3V,\Delta U_2=2V,\Delta U_3=1V$

B. $\Delta U_1=1V,\Delta U_2=3V,\Delta U_3=2V$

C. $\Delta U_1=0.5V,\Delta U_2=1V,\Delta U_3=1.5V$

D. $\Delta U_1=0.2V,\Delta U_2=1V,\Delta U_3=0.8V$

【巧解】 等效法

P 滑动前　$E=U_2+U_3+U_{内}$　P 滑动后　$E=U'_2+U'_3+U'_{内}$

以上两式相减得　$0=-\Delta U_2+\Delta U_3+\Delta U_{内}$　即 $\Delta U_2=\Delta U_3+\Delta U_{内}=\Delta U_3+\Delta U_{外}=\Delta U_3+\Delta U_1$

【答案】 B、D

例18 有一个电流表接在电动势为 E，内阻为 r（经过处理，阻值很大）的电池两端，指针偏转了 30°角，如果将其接电动势为 $2E$，内阻为 $2r$ 的电池两端，其指针的偏转角 θ 应为(　　)

更多资料干货 关注微信公众号 学习第一线 赠送5000G学习大礼包

A. 60°　　　　B. 30°

C. $30°<\theta<60°$　　　　D. $\theta>0°$

【巧解】 比例法

当接第一个电池时，$I_1=\frac{E}{R+r}$，当接第二个电池时，$I_2=\frac{2E}{R+2r}$，$\frac{I_2}{I_1}=\frac{2(R+r)}{R+2r}=1+\frac{R}{R+2r}$，因为 θ 与 I 成正比，所以 $\frac{I_2}{I_1}=\frac{\theta_2}{\theta_1}=\frac{\theta}{30°}$，$\frac{\theta}{30°}=1+\frac{R}{R+2r}$，所以 $1<\frac{\theta}{30°}<2$，故 $30°<\theta<60°$

【答案】 C

例19 有一未知电阻 R_x，为较准确测出其阻值，先后用图 19,20 两种电路进行测试，利用 19 图测得数据为"2.7V,5.0mA"，利用 20 图测得数据为"2.8V,4.0mA"，那么，该电阻测得值较准确的数值比真实值偏大或偏小的情况是(　　)

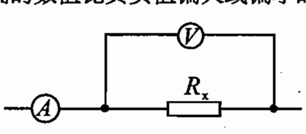


图 19

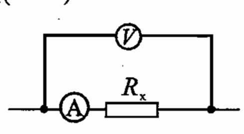


图 20

A. 560Ω，偏大　　　　B. 560Ω，偏小

C. 700Ω，偏小　　　　D700Ω，偏大

【巧解】 比较法

电压表示数变化 $\Delta U=0.1V$，$\frac{\Delta U}{U}=\frac{0.1}{2.7}=\frac{1}{27}$，电流表示数变化 $\Delta I=1mA$，$\frac{\Delta I}{I}=\frac{1}{5}$，可见 $\frac{\Delta I}{I}>\frac{\Delta U}{U}$，即电流表变化明显一些，电压表内阻带来的影响比电流表内阻带来的影响大，即说明 R_x 是一个大电阻，故采取电流表内接法，$R_x=\frac{2.8V}{4.0mA}=700\Omega$，此接法误差偏大.

【答案】 D

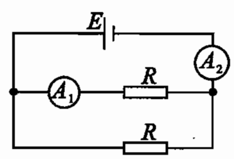


图 21

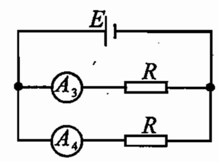


图 22

例20 (2009·全国)如图 21 和 22 所示的两种电路中，电源相同，各电阻器阻值相等，各电流表的内阻相等，且不可忽略，电流表 A_1、A_2、A_3 和 A_4 读出的电流值分别为 I_1、I_2、I_3 和 I_4，下列关系式中正确的是(　　)

A. $I_1=I_3$　　　　B. $I_1<I_4$

C. $I_2=2I_1$　　　　D. $I_2<I_3+I_4$

【巧解】 等效法

把电流表等效成能指示电流的"特殊"电阻，显然甲电路的总电阻大于乙电路的总电阻，故 $I_{甲总}<I_{乙总}$，即 $I_2<I_3+I_4$，又因 $2I_1<I_2$，则 $2I_1<I_3+I_4=2I_4$，故 $I_1<I_4$.

【答案】 B、D

例21 (2009·黄冈市模拟)如图 23 所示，电路中白炽灯 A 与 B 不亮，但电路中只有一处断开. 用电压表测得 $U_{ab}=0$，$U_{ac}=6V$，$U_{cd}=0$，则可知(　　)

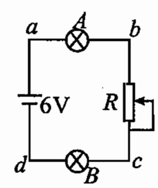


图 23

A. B 灯断　　　　B. A 灯断

C. R 断　　　　D. 电源断

【巧解】 推理法

凡未断开的灯丝及电阻器两端的电压应为零，相应的电压表示数为零. 凡电压表示数不为零的路段（不含电源），该段电路中必有断开之处.

【答案】 C

例22 (2002·全国春季)如图 24 所示，电容器的上极板 C 带正电，为了使该极板仍带正电且电量增大，下列办法中可采用的是(　　)

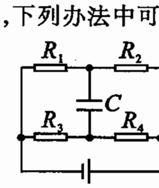


图 24

A. 增大 R_1，其他电阻不变.

B. 增大 R_2，其他电阻不变.

C. 增大 R_3，其他电阻不变.

D. 增大 R_4，其他电阻不变.

【巧解】 电势法　等效法

电容器所带电量与其两端电势差成正比，而电容器的作用等效于电压表. 在电路中沿电流的流向电势逐渐降低，故电阻 R_1 上电势差越大，即上极板电势越高，而电阻 R_4 上电势差越大，下极板电势越低. 所以增大 R_1 就增大了其两端的电势差，上极板电势越高，增大 R_4 则减小了下极板电势.

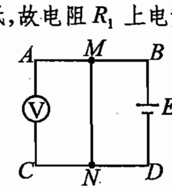


图 25

【答案】 A、D

第十五章 恒定电流综合测试

一、选择题(4 分×12＝48 分)

1. 黄昏时的电灯比深夜时暗一些,是因黄昏时(　　)

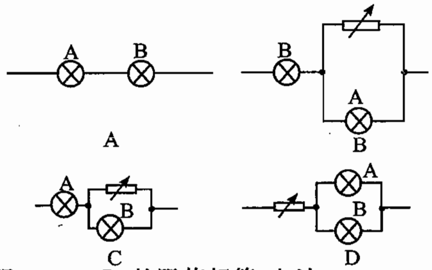
A. 线路总电阻变大,电流变小

B. 干线电流变大,线路损失电压增大

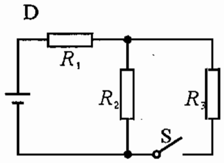
C. 总电流一定,支路增多分去了电流

D. 总电阻变小,各支路电流变小

2. 如下图所示,额定电压都为 110V 两盏电灯,额定功率分别:$P_A=100W$,$P_B=40W$,把它们接在 220V 的电路中,欲使电灯正常发光,且电路中消耗的功率最少,应采用的接法是下列的哪一个(　　)



3. 图中电阻 R_1、R_2、R_3 的阻值相等,电池的内阻不计. 开关 S 接通后流过 R_2 的电流是 S 接通前的(　　)

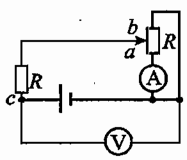


A. $\frac{1}{2}$　　B. $\frac{2}{3}$

更多资料干货 关注微信公众号 学习第一线 赠送5000G学习大礼包

C. $\frac{1}{3}$　　D. $\frac{1}{4}$

4. 如右图所示电路,电源内阻不能忽略,电流表、电压表均为理想电表,当滑动变阻器 R 的滑动头从 a 端滑到 b 端过程中(　　)



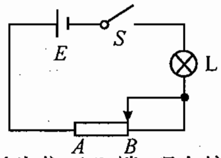
A. Ⓥ示数先增大后减小,Ⓐ示数增大

B. Ⓥ示数先增大后减小,Ⓐ示数先减小

C. Ⓥ示数先减小后增大,Ⓐ示数先增大后减小

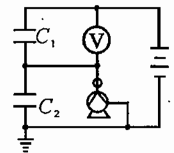
D. Ⓥ示数先减小后增大,Ⓐ示数减小

5. 如图所示电路中 E 为电源,其电动势 $E=9.0V$,内阻可忽略不计;AB 为滑动变阻器,其电阻 $R=30\Omega$;L 为一小灯泡,其额定电压 $U=6.0V$,额定功率 $P=1.8W$;S 为开关,开始时滑动变阻器的触头位于 B 端,现在接通开关 S,然后将触头缓慢地向 A 端滑动,当到达某一位置 C 处时,小灯泡刚好正常发光,则 CB 之间的电阻应为(　　)



A. 10Ω　　B. 20Ω　　C. 15Ω　　D. 5Ω

6. 如图所示的静电实验电路中,已知电容器的电容 $C_1=C_2=C$,电源的电动势为 E,内阻为 r,伏特表的内阻为 $10K\Omega$,当电路达到稳定状态后,则(　　)



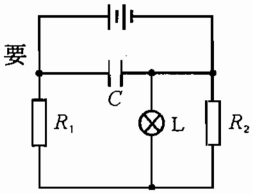
A. 伏特计和静电计上的电势差相等,都是 $E/2$

B. 伏特上的电势差比静电计上的电势差大些

C. 静电计上的电势差为零

D. 伏特计上的电势差为零

7. 如图所示电路中,电源电动势恒定,要想使灯泡变暗,可采用方法(　　)



A. 增大 R_1　　B. 减小 R_1

C. 增大 R_2　　D. 减小 R_2

8. 手电筒里的两节干电池,已经用过较长时间,灯泡只发出很微弱的光,把它们取出来,用电压表测电压,电压表示数很接近 3V,再把它们作为一个台式电子钟的电源,电子钟能正常工作,下列说法正确的是(　　)

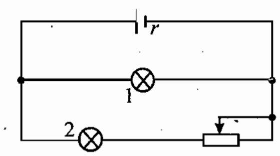
A. 这两节干电池的电动势减小了很多

B. 这两节干电池的内电阻增大较大

C. 这两台电子钟的额定电压一定比小灯泡额定电压小

D. 这台电子钟正常工作时的电流一定比小灯泡正常工作时电流小

9. 在如图所示的电路中,当变阻器的滑动端向左滑动时,则(　　)



A. 灯 1 变暗

B. 灯 2 变亮

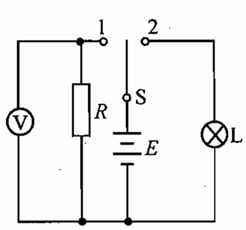
C. 电源的功率减小

D. 电源的效率增大

10. 电动势为 $E=12V$ 的电源与电压表和电流表串联成闭合回路. 如果将一电阻与电压表并联,则电压表的读数减小为原来的 $\frac{1}{3}$,电流表的读数增大为原来的 3 倍,电压表原来的读数(　　)

A. 3V　　B. 6V　　C. 9V　　D. 12V

11. 如图所示电路中,电源 E 的电动势为 3.2V,电阻 R 的阻值为 30Ω,小灯泡 L 的额定电压为 3.0V,额定功率为 4.5W,当开关 S 接位置 1 时,电压表的读数为 3V,那么当开关 S 接到位置 2 时,小灯泡 L 的发光情况是(　　)



A. 很暗,甚至不亮　　B. 正常发光

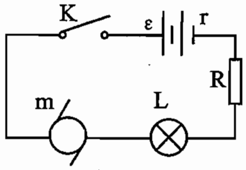
C. 比正常发光略亮　　D. 有可能被烧坏

12. 如图所示,已知电源电动势 $\varepsilon=20V$,内阻 $r=1\Omega$,当接入固定电阻 $R=4\Omega$ 时,电路中标有"3V　4.5W"的灯泡 L 和内阻 $r'=0.5\Omega$ 的小型直流电动机恰能正常工作,求:

(1)电路中的电流强度?

(2)电动机的额定工作电压?

(3)电源的总功率?

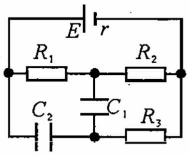


二、填空题(5 分×4 = 20 分)

13. 某脉冲激光器的耗电功率为 2×10^3W,每秒钟输出 10 个光脉冲,每个脉冲持续的时间为 10^{-8}s,携带的能量为 0.2J,则每个脉冲的功率________W. 该激光器将电能转化为激光能量的效率为________.

14. 有一电源,当输出电流为2A 时,输出功率是 10W,当输出电流为 1A 时,输出功率是 5.5W,则该电源的电动势是________V,内阻是________Ω,最大输出功率是________.

15. 电源电动势 $E = 12$V,内电阻 $r = 1\Omega$,固定电阻 R_1 为 3Ω,R_2 为 2Ω,R_3 为 5Ω,电容器电容 $C_1 = 4\mu$F,$C_2 = 1\mu$F,则电容器 C_1 所带电量 Q_1 =________C,电容器 C_2 所带电量 Q_2 =________C.(如图所示)



16. 某微型吸尘器内直流电动机 D 的内阻一定,当外加电压为 0.3V 时,电动机 D 没有转动,测得通过 D 的电流为 0.3A,当外加电压增加到 2.0V 时,电动机 D 正常工作,测得 D 的电流是 0.8A,由此可知电动机 D 正常工作时的工作效率是________.

三、实验题(15 分)

更多资料干货 关注微信公众号 学习第一线 赠送5000G学习大礼包

17. (15 分)为了测定电流表 A_1 的内阻,采用如图 1 所示的电路,其中:A_1 是待测电流表,量程为 300μA,内阻约为 100Ω;

A_2 是标准电流表,量程是 200μA;

R_1 是电阻箱,阻值范围 0 ~ 999.9Ω;

R_2 是滑动变阻器;

R_3 是保护电阻;

E 是电池组,电动势为 4V,内阻不计;

S_1 是单刀单掷开关,S_2 是单刀双掷开关.

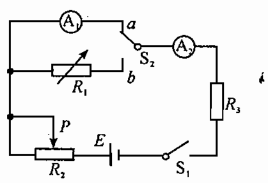


图 1

(1)根据电路图 1,请在图 2 中画出连线,将器材连接成实验电路.

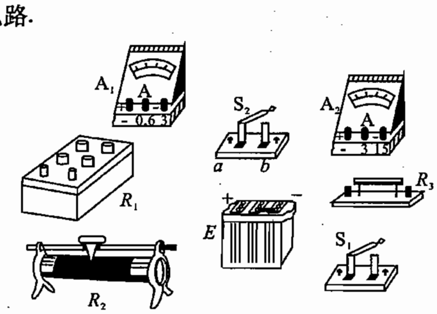


图 2

(2)连接好电路,将开关 S_2 扳到接点 a 处,接通开关 S_1,调整滑动变阻器 R_2 使电流表 A_2 的读数是 150μA;然后将开关 S_2 扳到接点 b 处,保持 R_2 不变,调节电阻箱 R_1,使 A_2 的读数仍为 150μA. 若此时电阻箱各旋钮的位置如图 3 所示,电阻箱 R_1 的阻值是________Ω,则待测电流表 A_1 的内阻 R_g =________Ω.

(3)上述实验中,无论怎样调整滑动变阻器 R_2 的滑动端位置,都要保证两块电流表的安全. 在下面提供的四个电阻中,保护电阻 R_3 应选用:________(填写阻值相应的字母).

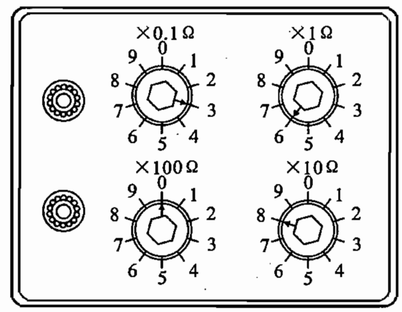


图 3

A. 200kΩ B. 20kΩ C. 15kΩ D. 20Ω

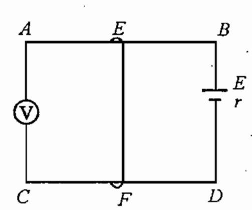
(4)下面提供最大阻值不同的四个滑动变阻器供选用,既要满足上述实验要求,又要调整方便,滑动变阻器________(填写阻值相应的字母)是最佳选择.

A. 1kΩ B. 5kΩ C. 10kΩ D. 25kΩ

四、计算题(共 17 分)

18. (7 分)有三盏灯 L_1、L_2、L_3,规格分别是"110V,100W";"110V,60W";"110V,25W"要求接到电压是 220V 的电源上,使每盏灯都能正常发光,可以使用一只适当规格的电阻,请按最优方案,设计一个电路,并说明对电阻的要求?(指阻值和功率的要求)

19. (10 分)如图,AB、CD 为两根平行的相同的均匀电阻丝,EF 为另一根电阻丝,其电阻为 R,它可以在 AB、CD 上滑动并保持与 AB 垂直,EF 与 AB、CD 接触良好,图中电压表为理想电压表,电池的电动势和内阻都不变,B、D 与电池两极连接的导线的电阻可忽略,当 EF 处于图中位置时,电压表的读数为 $U_1 = 4.0$V,已知将 EF 由图中向左移动一段距离 Δl 后,电压表的读数为 $U_2 = 3.0$V,若将 EF 由图中位置向右移动一段距离 Δl,电压表的读数 U_3 是多少?



第十六章 机械振动

难点巧学

一、巧用力、能的观点判断弹簧振子振动中物理量的变化

(1)力的观点判断:位移——回复力——加速度——速度

要理解其运动首先要深刻理解振动中的“位移”是相对平衡位置的位移,初位置始终在平衡位置,末位置是小球实际所处的点.

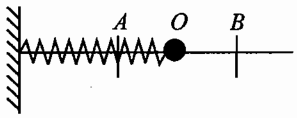


图 1

思路:$X \xrightarrow{F=-kx} F \xrightarrow{a=\frac{F}{m}} a \xrightarrow{a、V方向} V$

从上面的关系我们可以看出,位移、回复力、加速度是同向变化(同时增加,同时减小),与速度是反向变化.

在解决有关物理量变化时,要抓“三点两过程”.三点是指平衡位置 O、正向最大位移 B 和负向最大位移 A 处;两个过程是指向平衡位置运动或远离平衡位置运动.牢记在平衡位置位移为零(势能最小),回复力为零,加速度为零,速度最大(动能最大);在最大位移处位移最大,回复力最大,加速度最大,速度为零.靠近平衡位置运动位移减小,回复力减小,加速度减小,速度增大;远离平衡位置运动时,位移增大,回复力增大,加速度增大,速度减小.

更多资料干货 关注微信公众号 学习第一线 赠送5000G学习大礼包

(2)巧用能的观点分析动能和势能的变化:对于水平弹簧振子位移的大小就是弹簧的形变量.

$X \xrightarrow{E_p=kX^2/2}$ 势能 $E_p \xrightarrow{机械能守恒}$ 动能 E_k

二、弹簧振子运动的周期性、对称性

(1)巧用“去整留零”判断弹簧振子的位置:

如上图 1,假设开始球在 O 点,Δt 时间后观察到球在 B 点,则 Δt 时间就有不确定性,如果球向右运动,则 $\Delta t=\frac{T}{4}+nT(n=0,1,2,3\cdots\cdots)$;如果球向左运动,则 $\Delta t=\frac{3T}{4}+nT(n=0,1,2,3\cdots\cdots)$

因此我们在看到时间 Δt 时一般要与周期联系起来,由于相隔 nT 质点所处的位置完全相同,所以,我们确定 Δt 后球的位置可以对时间采用“去整留零”(去掉整数倍周期,取零头)确定球的位置.

$\Delta t=nT$:同一位置,运动情况完全相同;$\Delta t=\frac{T}{2}+nT$:X、F、a、V 均大小相等,方向相反;$\Delta t=\frac{3T}{4}+nT$ 或 $\frac{T}{4}+nT(n=0,1,2,3\cdots\cdots)$:具体情况具体分析.

(2)巧用规律求解弹簧振子路程:

$S_{路}=\frac{t}{T}\times 4A$($t$ 是半周期的整数倍).$\frac{1}{4}T$ 通过的路程可能等于 A,也可能大于或小于一个振幅 A,与振子起始位置有关.

(3)巧用逆过程分析法和能量守恒理解弹簧振子的对称性:

以图 2 弹簧振子为例,根据运动学的逆过程分析法可以知道 O 到 B 和 B 到 O 恰好完全相反.另外,从能量守恒的角度可以知道:弹簧振子的弹性势能与弹簧的形变量有关($E_p=\frac{1}{2}k\Delta x^2$),所以先后经过同一任意点 C,弹性势能相同,故动能也应该相同,也就是具有相同大小的速度.因此 O 到 B 和 B 到 O 是对称的,可逆的过程,运动时间应该相等,并且 O 到 C 和 C 到 O、B 到 C 和 C 到 B 也应该是对称的,运动时间相等.

同理,找一个与 C 点关于 O 对称的 D 点,O 到 D 和 O 到 C 的时间也应该是相等的.

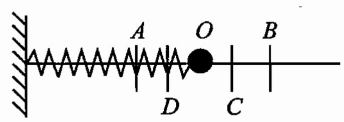


图 2

从以上分析我们可以看到,弹簧振子在同一点具有相同的位移,相同的回复力,相同的加速度,相同大小的速度,在关于 O 点对称的两个位置位移、回复力、加速度、速度大小相同,这就提示我们解题一定要注意多解.

三、巧用比值处理摆钟问题

无论摆钟走时是否准确,摆钟内部机械结构决定了钟摆每完成一次全振动,引起摆钟指示转过的角度是一定的,因此摆钟指示的时间与摆钟摆动的次数成正比.因此周期变短,摆钟就会变快;周期变长,摆钟就会变慢.

设同一摆钟在两个地点的摆长分别为 l_1、l_2,两地的重力加速度分别为 g_1 和 g_2,摆动周期分别为 T_1 和 T_2,摆钟示数分别为 t_1、t_2,则

$$T_1=2\pi\sqrt{\frac{l_1}{g_1}} \quad T_2=2\pi\sqrt{\frac{l_2}{g_2}} \quad n_1T_1=n_2T_2$$

由以上可得出:$\Rightarrow \frac{t_1}{t_2}=\sqrt{\frac{l_2g_1}{l_1g_2}}$

从上式可以得出:在相同时间内,同一摆钟的指示时间与其

摆长的平方根成反比，与重力加速度的平方根成正比．利用这个比值可以很快处理摆钟问题．如：一摆长为 99.0cm 的摆钟，每昼夜快 5.0min，要使其走时准确，应如何调整它的摆长？

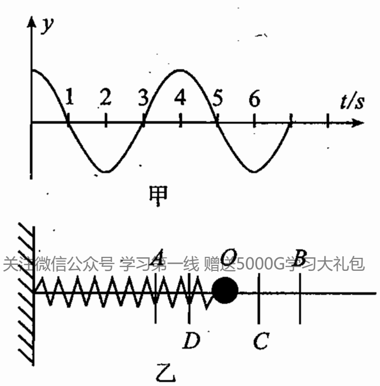
解：一昼夜的时间 $t=1440.0\text{min}$，每昼夜快 5.0min，指示时间 $t_1=1445.0\text{min}$，摆长 $l_1=99.0\text{cm}$；调整后，$t_2=t=1440.0\text{min}$，同一地点 g 相同，所以

$$\frac{t_1}{t_2}=\sqrt{\frac{l_2}{l_1}}\quad 故\ l_2=\left(\frac{t_1}{t_2}\right)^2 l_1=\left(\frac{1445.0}{1440.0}\right)^2\times 99.0\text{cm}=99.7\text{cm}$$

四、巧用位移的变化分析质点的振动：振动图象与振动对应

看图象要点：首先看图象的坐标轴，明白是什么图象；然后看图象的走势，明白相关物理量大体如何变化（一次函数、二次函数、正余弦函数等）；再看特殊点（交点、截距）明白其物理意义；最后看图象的斜率、面积等的物理意义．

看振动图象的要点：抓某一时刻的位移，看位移的变化趋势．比如图 3 甲所示在 1 秒末，位移为零，表明质点在平衡位置，接下来位移变为负，且增加，在规定向右运动为正的情况下，知道乙图弹簧振子正在平衡位置 O 且向左运动．



更多资料干货 关注微信公众号 学习第一线 赠送5000G学习大礼包

图 3

需要说明的 1s 末和 3s 末、5s 末质点的位移都为零，但是不是说运动情况相同，相同的是 1s 末和 5s 末，由于周期性，相隔 nT 质点的振动情况完全相同．

五、巧用等效思想处理等效单摆

单摆的运动非常有规律，在小角度振动的情况下，满足周期公式 $T=2\pi\sqrt{\dfrac{L}{g}}$，其中 L 是悬点到球心之间的距离，g 是当地的重力加速度．由此可见，只要物体的振动跟单摆的振动类似，就可用单摆的方法来处理，此即为等效单摆．

（1）巧用等效摆长理解等效单摆

摆长 L 是悬点到球心的距离，因此我们在处理等效单摆的时候就要找出等效悬点，求出悬点到球心之间的距离即可．需要注意的就是悬点一定在重力反向延长线上．

如图 4 所示的秋千，我们可以将重力作用线反向延长，与 BC 联线的交点即为等效悬点．

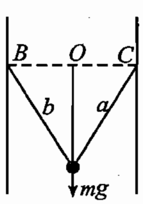


图 4

（2）巧用等效重力加速度理解等效单摆

通常我们这样处理：在均匀场中，单摆在"平衡位置"对悬线的拉力等效为重力 mg'，然后将 g' 代入周期公式计算．单摆周期是否变化取决于切线方向的分力是否变化．

①g 由单摆所在的空间位置决定．由 $g=G\dfrac{M}{R^2}$ 知，g 随地球表面不同位置、不同高度而变化，在不同星球上也不相同，因此应求出单摆所在处的等效值 g' 代入公式，即 g 不一定等于 9.8m/s^2．

②g 还由单摆系统的运动状态决定．如单摆处在向上加速发射的航天飞机内，设加速度为 a，此时摆球处于超重状态，沿圆弧切线方向的回复力变大，摆球质量不变，则重力加速度的等效值 $g'=g+a$，再如，单摆若在轨道上运行的航天飞机内，则摆球完全失重，回复力为零，$g'=0$．

③g 还由单摆所处的物理环境决定，如带电小球做成的单摆处于竖直方向的匀强电场中，回复力应该为重力和电场力竖直方向合力在圆弧切线方向的分力．（但是，如果球所受的力是变力不能这样处理，比如带电球在磁场中的单摆运动、线两端拴两个带电球，然后一个带电球作单摆的运动．）

活题巧解

例 1　（上海高考题）弹簧振子在光滑水平面上作简谐运动，在振子向平衡位置运动的过程中（　　）

A. 振子所受的回复力逐渐增大

B. 振子的位移逐渐增大

C. 振子的速度逐渐减小

D. 振子的加速度减小

【巧解】　推理法

利用位移、回复力、加速度、速度的变化关系：$X\xrightarrow{F=-kx}F\xrightarrow{a=\frac{F}{m}}a\xrightarrow{a、v\text{方向}}v$

X、F、a 是大小变化趋势相同、速度和位移的大小变化趋势相反．在向着平衡位置运动过程中，位移减小，所以回复力减小，加速度减小，速度增大．故 D 正确

【答案】　D

例 2　（全国高考题）

状态\时间 / 物理量	0	T/4	T/2	3T/4	T
甲	零	正向最大	零	负向最大	零
乙	零	负向最大	零	正向最大	零
丙	正向最大	零	负向最大	零	正向最大
丁	负向最大	零	正向最大	零	负向最大

如果表中给出的是作简谐振动的物体的位移 x 或速度 v 与时刻的对应关系，T 是振动周期，则下列选项中正确的是（　　）

A. 若甲表示位移 x，则丙表示相应的速度 v

B. 若丁表示位移 x，则甲表示相应的速度 v

C. 若丙表示位移 x，则甲表示相应的速度 v

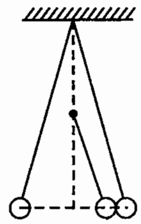
D. 若乙表示位移 x，则丙表示相应的速度 v

【巧解】 假设法

此题以表格的方式给出信息，题型新颖，要求对简谐运动的物理量的变化规律非常熟悉. 由于未定性，所以可以根据答案来假设分析推理. 要记住的就是 x 和 F、a 大小变化趋势相同，方向相反；X 大小和速度 v 大小是变化趋势相反. 因此可以很容易判断出正确答案是 A、B

【答案】 A、B

例 3 （全国物理卷）细长轻绳下端拴一小球构成单摆，在悬点正下方 $\frac{l}{2}$ 摆长处有一个能挡住摆线的钉子，如图 5 所示，现将单摆向左拉开一个小角度，然后无初速的释放，对于以后的运动，下列说法正确的是(　　)


图 5

A. 摆球往返运动一次的周期比无钉子时的单摆周期小

B. 摆球在左右两侧上升的最大高度一样

C. 摆球在平衡位置左右两侧走过的最大弧长相等

D. 摆线在平衡位置右侧的最大摆角是左侧的两倍

【巧解】 等效法

将实际的运动等效为两个单摆：一个是摆长为 L 的单摆，在竖直线的左边摆动；另一个是摆长为 $L/2$ 的单摆，在竖直线的右边摆动. 一个全振动就是二者摆动时间之和：$T=\frac{T_1}{2}+\frac{T_2}{2}=\pi\sqrt{\frac{L}{g}}+\pi\sqrt{\frac{L}{2g}}$ 因此 A 选项正确. 在此过程，只有重力做功，因此机械能守恒，故小球能摆到同样高度，B 正确. C、D 错误.

更多资料干货 关注微信公众号 学习第一线 赠送5000G学习大礼包

【答案】 A、B

例 4 一个作简谐运动的质点在平衡位置 O 点附近振动. 当质点从 O 点向某一侧运动时，经 3s 第一次过 P 点，再向前运动，又经过 2s 第二次过 P 点，则该质点再经过________时间第三次过 P 点，周期为________s.

【巧解】 模型法

此题最容易让人错误的认为 P 点一定在运动的同侧，而实际上应该有两种可能，可以将物理过程模型化，画出质点的振动过程就很容易处理了，如下图 6 和图 7 所示.

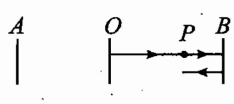


图 6

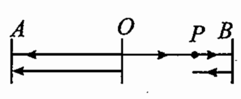


图 7

质点可能从 O 点开始向 P 点运动，根据对称性，P 到 B 和 B 到 P 点时间相等，则 O 到 B 点时间为 $4s=T/4$，故周期为 16s，所以第三次到 P 点的时间间隔就是 14s. 质点也可能从 O 点向 A 点运动，则 O 到 A，回到 O，再到 B 点时间间隔就为 $4s=3T/4$，所以周期 $T=\frac{16}{3}$s，第三次到 P 点时间间隔就是 10/3 秒.

【答案】 14s 或 $\frac{10}{3}$s；16s 或 $\frac{16}{3}$s

例 5 某单摆的摆球是一个不规则的重物，你能否在仅有一块秒表和一根米尺的条件下，设计出一个简便易行的方法测量当地的重力加速度 g？写出实验步骤，并写出计算重力加速度 g 的表达式.

【巧解】 比例法

本题的难点在于无法直接测量摆长（悬点到重心之间的距离），因此可采用二次测量然后利用比例法来克服这个问题. 当摆线长为 l_1 时（线长远大于重物的线度），测出周期为 T_1，设重心到摆线与物体的连接点距离为 a，则：$T_1=2\pi\sqrt{\frac{l_1+a}{g}}$，同理 $T_2=2\pi\sqrt{\frac{l_2+a}{g}}$，两式联解：$g=\frac{4\pi^2(l_2-l_1)}{T_2^{\,2}-T_1^{\,2}}$

【答案】 $g=\frac{4\pi^2(l_2-l_1)}{T_2^{\,2}-T_1^{\,2}}$

例 6 如图 8 所示，光滑圆弧轨道的半径为 R，圆弧底部中点为 O，两个相同的小球分别在 O 正上方 h 处的 A 点和离 O 很近的轨道 B 点，现同时释放两球，使两球正好在 O 点相碰，问 h 应为多高？（半径远大于弧长）

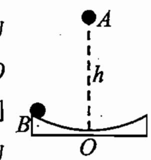


图 8

【巧解】 等效法

小球在圆弧中的运动类似单摆运动，由弧的弹力代替绳的拉力，因为半径远大于弧长，所以角度很小，满足单摆的周期公式，小球运动的时间为 $t=\frac{1}{4}T+nT$ 或 $t=\frac{3}{4}T+nT$，自由落体的小球满足公式 $h=\frac{1}{2}gt^2$，因此 h 应该是两系列解，$h=2\pi^2R(\frac{1}{4}+n)^2$ 或 $h=2\pi^2R(\frac{3}{4}+n)^2(n=0,1,2,3\cdots\cdots)$

【答案】 $h=2\pi^2R(\frac{1}{4}+n)^2$ 或 $h=2\pi^2R(\frac{3}{4}+n)^2(n=0,1,2,3\cdots\cdots)$

例 7 将一个力电传感器接到计算机上，可以测量快速变化的力. 用这种方法测得的某单摆摆动过程中悬线上拉力大小随时间变化的曲线如下图所示. 由此图线提供的信息做出下列判断：

①$t=0.2$s 时刻摆球正经过最低点；

②$t=1.1$s 时摆球正处于最高点；

③摆球摆动过程中机械能时而增大时而减小；

④摆球摆动的周期约是 $T=0.6$s. 上述判断中正确的是(　　)

A. ①③　　B. ②④　　C. ①②　　D. ③④

【巧解】 特殊点法

注意这是悬线上的拉力图象，而不是振动图象. 当摆球到达最高点时，悬线上的拉力最小；当摆球到达最低点时，悬线上的拉力最大. 因此①②正确. 从图象中看出摆球到达最低点时的拉力一次比一次小，说明速率一次比一次小，反映出振动过程摆球一定受到阻力作用，因此机械能应该一直减小. 在一个周期内，单摆摆球应该两次经过最低点，因此周期应该约是 $T=1.2$s. 因此答案③④错误. 本题应选 C.

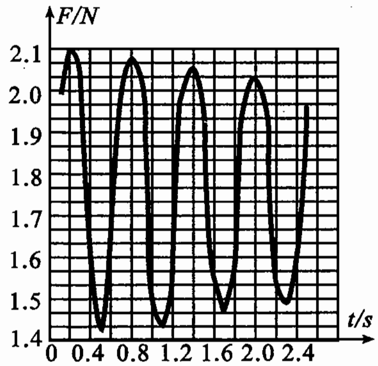


图 9

【答案】 C

例 8 如图 10 所示，长为 L 的两根绳子悬挂的物体 M，物体的线度远小于绳子的长度. A、B 等高，间距为 d. 求物体作小角度摆动的周期 T.

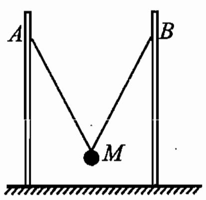


图 10

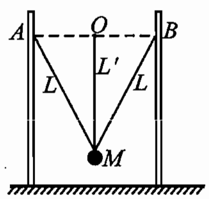


图 11

【巧解】 等效摆长法

将重力反向延长，与 A、B 连线的交点即为等效悬点 O，O 到球心之间的距离即等效摆长. 如图 11 所示，根据勾股定理可以得出：$L'=\sqrt{L^2-\frac{d^2}{4}}$，周期为 $T=2\pi\sqrt{\frac{L'}{g}}$

更多资料干货关注微信公众号……赠送500G学习大礼包

【答案】 $T=2\pi\sqrt{\dfrac{\sqrt{L^2-(\frac{d}{4})^2}}{g}}$

例 9 如图 12 所示，若单摆处在沿水平方向作匀加速直线运动的系统内，单摆摆长为 L，系统向右的加速度为 a，求这个单摆作小角度振动的周期 T.

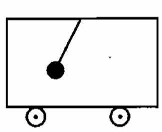


图 12

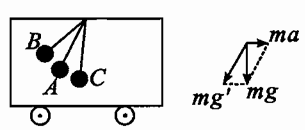


图 13

【巧解】 等效重力加速度法

小球的振动如图 13 所示，小球在 BAC 之间运动，A 点等效为平衡位置，将重力分解为沿绳方向的等效重力 mg' 分量和水平向右的提供加速度的 ma 分量. 所以等效重力加速度 $g'=\sqrt{g^2+a^2}$，故周期为 $T=2\pi\sqrt{\frac{L}{g'}}=2\pi\sqrt{\frac{L}{\sqrt{g^2+a^2}}}$

【答案】 $T=2\pi\sqrt{\dfrac{L}{\sqrt{g^2+a^2}}}$

例 10 如图 14 所示，两个质量均为 m 的带电小球通过绝缘轻绳子连接起来，两个带电球的电荷量均为 q，当固定一个带电球 A 时，求另一个带电球 B 作小角度摆动的周期.

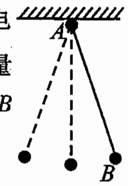


图 14

【巧解】 等效法

小球 B 受力中沿绳方向多了一个排斥力，使得绳子的拉力增大，但是在摆动过程中使球的速度大小变化的是重力沿切线方向的分量，电场力的叠加只是让绳子的拉力变化，因此并不影响摆动的周期，故周期依然为：$T=2\pi\sqrt{\frac{L}{g}}$.

同理，如果带电体在磁场中作单摆的运动类似处理.

【答案】 $T=2\pi\sqrt{\dfrac{L}{g}}$

例 11 （2009 天津卷）某质点做简谐运动，其位移随时间变化的关系式为 $x=A\sin\frac{\pi}{4}t$，则质点（　　）

A. 第 1s 末与第 3s 末的位移相同

B. 第 1s 末与第 3s 末的速度相同

C. 3s 末至 5s 末的位移方向都相同

D. 3s 末至 5s 末的速度方向都相同

【巧解】 求导法、作图法

由 $x=A\sin\frac{\pi}{4}t$ 求导数可得 $v=\frac{\pi A}{4}\cos\frac{\pi}{4}t$，我们可以作出 $x=A\sin\frac{\pi}{4}t$ 和 $v=\frac{\pi A}{4}\cos\frac{\pi}{4}t$ 的函数图像.

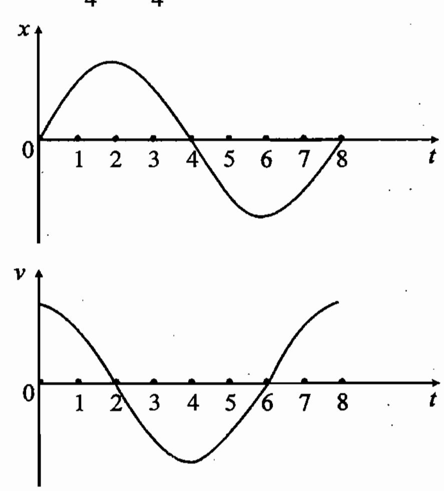


图 15

由图，显然 AD 正确.

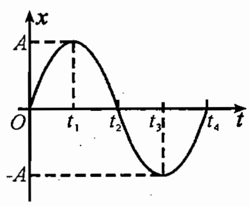
【答案】 AD

第十六章 机械振动综合测试

一、选择题(4 分×12＝48 分)

1. 一弹簧振子做简谐运动,则下列说法正确的有(　　)
   A. 若位移为负值,则速度一定为正值,加速度也一定为正值
   B. 振子通过平衡位置时,速度为零,加速度最大
   C. 振子每次通过平衡位置时,加速度相同,速度也一定相同
   D. 振子每次通过平衡位置时,其速度不一定相同,但加速度一定相同

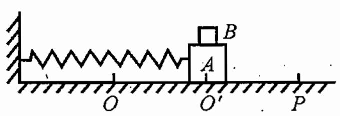
2. 图为一弹簧振子的振动图象,由此可知(　　)



   A. 在 t_1 时刻,振子的动能最大,所受的弹性力最大
   B. 在 t_2 时刻,振子的动能最大,所受的弹性力最小
   C. 在 t_3 时刻,振子的动能最大,所受的弹性力最小
   D. 在 t_4 时刻,振子的动能最大,所受的弹性力最大

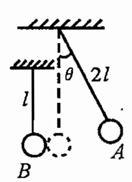
3. 如图所示,一个弹簧振子 A 沿光滑水平面做简谐运动,在振幅相同的条件下,第一次当振子 A 通过平衡位置时,将一块橡皮泥 B 轻粘在 A 上共同振动;第二次当振子 A 刚好达到位移最大值时,将同一块橡皮泥 B 轻粘在 A 上共同振动,前后两次 B 粘在 A 上之后的振动过程中,具有不同的物理量的是(　　)

更多资料干货 关注微信公众号 学习第一线 赠送5000G学习大礼包



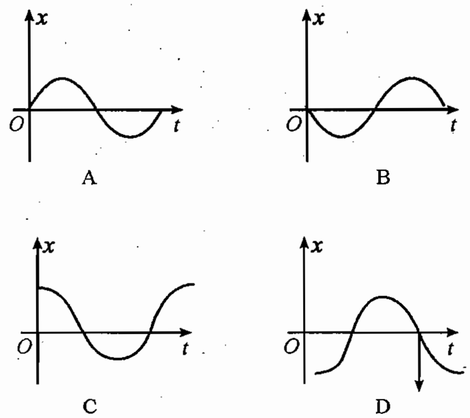
   A. 位移　　　　B. 最大速度
   C. 回复力　　　D. 最大加速度值

4. 如图所示,A、B 两球质量相等,球 A 从静止释放,与静止的 B 球发生无机械能损失的碰撞,正好使 B 球能到达使绳成水平的位置上,两绳长分别为 $2l$ 和 l,那么球 A 释放前,绳与竖直方向夹角 θ 应满足(　　)



   A. $\cos\theta=\frac{1}{2}$　　　B. $\cos\theta=\frac{1}{3}$
   C. $\cos\theta=\frac{2}{3}$　　　D. $\cos\theta=\frac{1}{6}$

5. 如图,摆长为 l 的单摆做简谐运动,若从某时刻开始计时(即取作 $t=0$)当振动至 $t=\frac{3}{2}\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$ 时,摆球恰具有负向最大速度,则单摆的振动图象是图中的(　　)

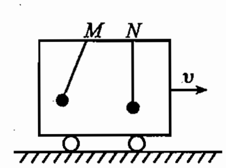


6. 作简谐运动的弹簧振子,其质量为 m,最大速率为 v,则下列说法中正确的是(　　)
   A. 从某时刻算起,在半个周期的时间内,弹力做的功一定为零
   B. 从某时刻算起,在半个周期的时间内,弹力做的功可能是零到 $\frac{mv^2}{2}$ 之间的某一个值
   C. 从某时刻算起,在半个周期的时间内,弹力的冲量一定为零
   D. 从某时刻算起,在半个周期的时间内,弹力的冲量可能是零到 $2mv$ 之间的某一值

7. 把一个筛子用四根弹簧支起来,筛子上装一个电动偏心轮,它每转一周给筛子一个驱动力,这就做成了一个共振筛,筛子在做自由振动时,每次全振动用时 2s,在某电压下电动偏心轮转速是 36 转/min,已知增大电压可以使偏心轮转速度提高,增加筛子质量,可以增大筛的固有周期,那么,要使筛子的振幅增大,下列说法正确的是(　　)
   A. 提高输入电压　　　B. 降低输入电压
   C. 增加筛子质量　　　D. 减小筛子质量

8. 有一单摆,在海平面上某时间内摆动了 N 次,在某山顶同样长的时间内摆动了 $N-1$ 次,由此可知此山的海拔高度是地球半径的(　　)
   A. $\frac{1}{N-1}$倍　　　B. $\frac{1}{N}$倍
   C. $\frac{1}{N+1}$倍　　　D. $\frac{N-1}{N+1}$倍

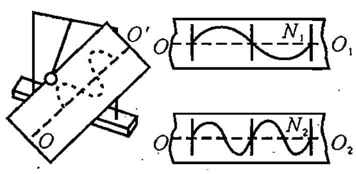
9. 一向右运动的车厢顶上悬挂两单摆 M 与 N,他们只能在图示平面内摆动,某一瞬间出现图示情景,由此可知车厢的运动及两单摆相对车厢运动的可能情况是(　　)



   A. 车厢做匀速直线运动,M 在摆动,N 静止
   B. 车厢做匀速直线运动,M 在摆动,N 也在摆动
   C. 车厢做匀速直线运动,M 在静止,N 在摆动

D. 车厢做匀加速直线运动,M 静止,N 也在静止

10. 如图(甲)所示,是演示简谐振动图象的装置,当盛砂漏斗下面的薄木板 N 被匀速拉出时,摆动着的漏斗中漏出的砂在板上形成的曲线显示出摆的位移随时间变化的关系;板上的直线 OO_1 代表时间轴,图(乙)所示是两个摆中的砂在各自木板上形成的曲线.若板 N_1 和 N_2 拉动的速度 v_1 和 v_2 的关系为 $v_2=2v_1$,则板 N_1、N_2 上曲线所代表的振动周期 T_1 和 T_2 的关系为(　　)



(甲)　　(乙)

A. $T_2=T_1$　　B. $T_2=2T_1$

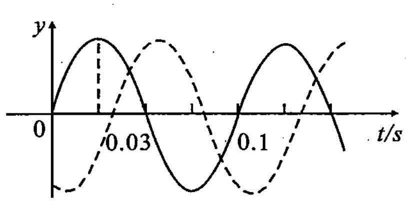
C. $T_2=4T_1$　　D. $T_2=\frac{T_1}{4}$

11. 单摆做简谐运动的过程中,当摆球在位移最大处时(　　)
A. 速度最小,势能最大,绳中张力最大
B. 速度最大,势能最小,绳中张力最小
C. 速度最小,势能最大,绳中张力最小
D. 速度最大,势能最小,绳中张力最大

12. (2008·四川)一列简谐横波沿直线传播,该直线上的 a、b 两点相距 4.42m.图中实、虚两条曲线分别表示平衡位置在 a、b 两点处质点的振动曲线.从图中可知(　　)
A. 此列波的频率一定是 10Hz

更多资料干货 关注微信公众号 学习第一线 赠送5000G学习大礼包

B. 此列波的波长一定是 0.1m
C. 此列波的传播速度可能是 34m/s
D. a 点一定比 b 点距波源近

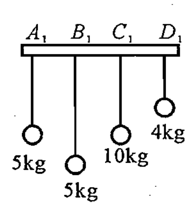


二、填空题(5 分×4=20 分)

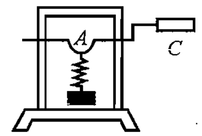
13. 两个弹簧振子,甲的固有频率是 $5f$,乙的固有频率是 $9f$,它们在频率为 $6f$ 驱动力作用下振动,当达到稳定后,两振子中________的振幅大些,两振子受迫振动的振动频率分别为________和________.

14. 一质点在 OM 直线上做简谐振动,O 点为平衡位置,在振动过程中,从它由 O 开始向 M 点运动时算起,经过 0.15s 达到 M 点,再经过 0.1s 第二次到达 M 点,则其振动频率为________Hz.

15. 如图所示给出了 A_1、B_1、C_1、D_1 共四个单摆,如果你想通过实验来验证单摆的周期与摆球的质量无关,若每次只用两个摆作比较,那么只需比两次即可说明问题,你选用来做实验的两组是________.



16. 如图所示的装置中,在曲轴 A 上悬挂一个弹簧振子,转动摇把 C,曲轴带动弹簧振子上下振动,开始时不转动摇把,而用手往下拉振子,再放手使弹簧振子上下振动.测得弹簧振子在 10 秒内完成 20 次全振动,然后匀速转动摇把,当摇把转速为________转/分时,弹簧振子的振幅最大;当摇把转速 $n=240$ 转/分时,弹簧振子振动稳定后的振动周期 $T=$________秒.



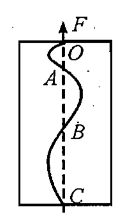
三、实验题(5 分×2=10 分)

17. 为了用单摆测重力加速度,下列几组器材中最理想的一组是(　　)
A. 20cm 长的结实的细线、小木球、秒表、米尺
B. 110cm 的结实的细线、小钢球、秒表、米尺
C. 100cm 的结实的细线、大木球、秒表、米尺
D. 100cm 的结实的细线、大钢球、大挂钟、米尺

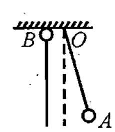
18. 在《利用单摆测定重力加速度》的实验中,某同学将摆球向旁边拉开一个角度后由静止释放,使摆球在竖直平面内做简谐振动,若测得的重力加速度 g 比当地的真实值偏小,可能的原因是(　　)
A. 测量摆长时,忽略了摆球的半径
B. 测量周期时,n 次全振动误记为$(n-1)$次全振动
C. 摆球的质量偏小
D. 振幅稍大了些

四、计算题(共 22 分)

19. (10 分)如图所示,一块涂有碳黑的玻璃板,质量为 2kg,在拉力 F 的作用下静止开始向上做匀变速运动,一个装有指针的振动频率为 5Hz 的电动音叉在玻璃板上画出图中所示的曲线,量得 $OA=1$cm,$OB=4$cm,$OC=9$cm,则外力 F 的大小为多少牛顿?



20. (12 分)如右图所示,OA 为一单摆,B 是穿在一根较长细线上的小球(可视为质点),让 OA 偏离竖直方向一很小角度,在放手让 A 球向下摆动的同时,另一小球 B 从 O 点等高处由静止开始下落,A 球首次摆到最低点时两球恰好相遇,求 B 球下落时受到的细线的阻力与 B 球重力之比.(取 $\pi^2=10$)



第十七章

机械波

难点巧学

一、巧用绳波图理解机械波的形成

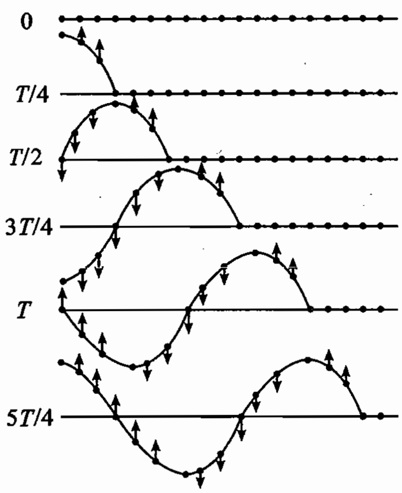


图 1

更多资料干货关注微信公众号 学习第一线 赠送9000G学习大礼包

(1)介质质点依次开始振动,后面的质点落后于前面的质点,落后的时间就是波传播的时间;

(2)质点最初的振动方向都与波源最初的振动方向相同;(应用见“活题巧解”例5)

(3)波传播方向和质点振动方向关系:右传右上,左传左上.(波向右方传播时,波峰和相邻波谷之间右面的质点均向上振动;波向左边传播时,波峰和相邻波谷之间左面的质点向上振动.)(应用见“活题巧解”例1)

(4)同相、反相质点:形成波以后,介质中沿波传播方向上相隔 $n\lambda$ 的两个质点振动情况完全相同(同相),相隔半波长奇数倍的两个质点振动情况完全相反(反相).因此以后凡是看到沿波传播方向上某两个点的距离 ΔX,马上应该想到将距离 ΔX 与波长 λ 联系起来,这样可以根据一个点的振动情况来推断另一个点的振动情况.(详见“活题巧解”例6)

(5)介质质点在各自的平衡位置附近作往复运动,因此相隔 nT 介质质点所处的位置完全相同,所以得到的图象也完全相同,此即为波的图象的重复性.

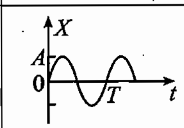
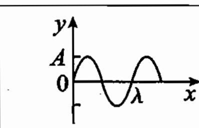
由于正、余弦图象形状特殊,因此我们可以巧用特殊点法(五个特殊点)来处理一些问题,比如已知 t 时刻的波形,求作 $t\pm\Delta t$ 时刻的波形;已知 t 时刻和 $t+\Delta t$ 时刻的波形,求可能周期、可能波速,实际操作时可以将时间 Δt 和周期联系起来,$\Delta t=nT+mT$(n 整数,m 为小数,$\frac{1}{4}$、$\frac{1}{2}$、$\frac{3}{4}$)

实际操作的时候可以“去整留零”,即不管 nT,只管 mT 之后特殊点的位置就可以了,适用于 $mT=T/4, 3T/4, T/2$ 的特殊情况.(应用见“活题巧解”例3)

(6)波向外传播,波形匀速向外平移,波在一个周期内传播的距离就是一个波长.因此一般我们看到介质质点两点之间的距离通常要与波长联系起来 $\Delta s=n\lambda+m\lambda$($n$ 为整数,m 为小数).(应用见“活题巧解”例2)

另外利用“波形微平移法”,还可以判断质点的振动情况,如“活题巧解”例11.

二、波图像和振动图像的区别

		简谐振动	简谐横波
图象			
坐标	横坐标	时间	介质中各质点的平衡位置
	纵坐标	质点的振动位移	各质点在同一时刻的振动位移
研究对象		一个质点	沿波传播方向的介质中大量质点
物理意义		一个质点在不同时刻的振动位移	介质中各质点在同一时刻的振动位移
完整波形		周期	波长
随时间的变化		原有图形不变,图线随时间而延伸	原有波形沿波的传播方向平移
运动情况		质点做简谐运动	波在介质中匀速传播;介质中各质点做简谐振动

三、波的叠加 波的干涉

独立传播原理:几列波相遇时,能够保持各自的运动状态继续传播,不互相影响.

叠加原理:介质质点的位移、速度、加速度都等于几列波单独转播时引起的位移、速度、加速度的矢量和.叠加是无条件的,干涉要频率和振动情况相同.

巧用公式推断干涉区域质点的振动加强和减弱两振源同相时:

①最强:该点到两个波源的路程之差是波长的整数倍,即 $\delta=n\lambda(n=0,1,2,3\cdots)$

②最弱:该点到两个波源的路程之差是半波长的奇数倍,即 $\delta=\frac{\lambda}{2}(2n+1)(n=0,1,2,3\cdots)$

若两振源反相时,与上述情况相反.

◀ 活 题 巧 解 ▶

例1 (2005·四川、陕西卷)一列简谐波在 x 轴上传播,某时刻的波形如图2所示,a、b、c 为三个质元.a 正向上运动,由此可知:

A. 该波沿 x 轴正方向传播

B. c 正向上运动

C. 该时刻以后,b 比 c 先回到平衡位置

D. 该时刻以后,b 比 c 先到达离平衡位置最远处

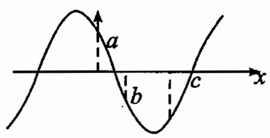


图2

【巧解】 推论法

依据"右传右上,左传左上",a 在波峰和波谷的右边,a 向上运动,波肯定向右传播,故A对;c 点在波峰的左边应该向下运动,所以B错;b 和 a 一样在波的右边因此应该向上运动,c 在波峰的左边向下运动,所以 b 比 c 先回到平衡位置,故C正确,相应的 b 到波峰时间大于 $T/4$,而 c 到波谷的时间小于 $T/4$,故D错.

【答案】 A、C

例2 如图3所示为一列向右传播的简谐横波在某一时刻的波形图,已知波速 $v=0.5\text{m/s}$,画出该时刻7s前和6s后时刻的波形图.

第一线 赠送5000G学习大礼包

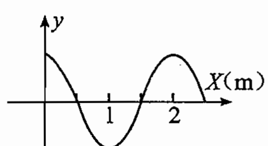


图3

【巧解】 平移法

波向右传播,因此:6s传播的距离为:$\Delta X=v\Delta t=0.5\times6=3\text{m}$,将波形往波的传播方向平移3m即可,而实际上由于波形的重复性,$\Delta X=3\text{m}=\lambda+\lambda/2$ 因此实际只需要平移 $\lambda/2$ 就可以了(去整留零),图象如图①所示.7s波传播的距离为 $\Delta X'=v\Delta t'=0.5\times7=3.5\text{m}=\lambda+3\lambda/4$,由于是7s以前的波形,因此应该向左平移,图象如图②所示.

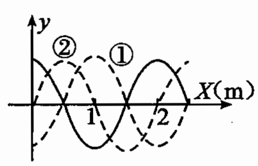


图4

例3 (2010福建卷)一列简谐横波在 $t=0$ 时刻的波形如图5中的实线所示,$t=0.02\text{s}$ 时刻的波形如图中虚线所示.若该波的周期 T 大于0.02s,则该波的传播速度可能是(　　)

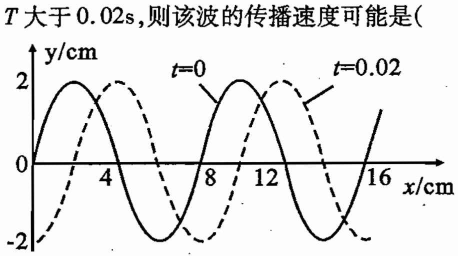


图5

A. 2m/s　　B. 3m/s　　C. 4m/s　　D. 5m/s

【巧解】 分类法

解法1:应用公式 $v=\frac{\lambda}{T}$,由波形图可知 $\lambda=8\text{cm}$.

若波向左传播,则有 $\frac{3}{4}T_1=0.02\text{s}$,即 $T_1=\frac{0.08}{3}\text{s}$,

则 $v=\frac{\lambda}{T_1}=3\text{m/s}$.

若波向右传播,则有 $\frac{1}{4}T_2=0.02\text{s}$,即 $T_2=0.08\text{s}$,

则 $v=\frac{\lambda}{T_2}=1\text{m/s}$.

解法2:应用公式 $v=\frac{\Delta x}{\Delta t}$.

若波向左传播,则有 $\Delta x_1=\frac{3}{4}\lambda=0.06\text{m}$

$\therefore v=\frac{\Delta x_1}{\Delta t}=\frac{0.06}{0.02}=3\text{m/s}$

若波向右传播,则有 $\Delta x_2=\frac{1}{4}\lambda=0.02\text{m}$

$\therefore v=\frac{\Delta x_2}{\Delta t}=\frac{0.02}{0.02}=1\text{m/s}$

【答案】 B

例4 (2004·全国理综卷)一列简谐横波沿 x 轴负方向传播,图6(a)是 $t=1\text{s}$ 时的波形图,图6(b)是波中某振动质元位移随时间变化的振动图线(两图用同一时间起点),则图6(b)可能是图6(a)中哪个质元的振动图线?

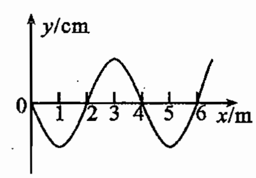


图6(a)

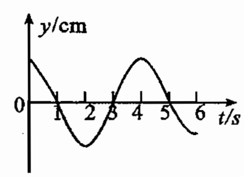


图6(b)

A. $x=0$ 处的质元　　B. $x=1\text{m}$ 处的质元

C. $x=2\text{m}$ 处的质元　　D. $x=3\text{m}$ 处的质元

【巧解】 特殊点法

由于图1是 $t=1$ 秒的波形,因此首先要找到质点在 $t=1$ 秒的位置,从图2可以看出在该时刻,质点振动的位移为0,并且随时间将要变为负,所以可以肯定该点一定在平衡位置并且正向下振动,结合"右传右上,左传左上"可以知道0、4两点符合题意,所以正确答案为A.

【答案】 A

例5 一列向右传播的简谐横波,某时刻的波形图如图7所示,波速为0.6m/s,P 点的横坐标 $x=0.96\text{m}$,从图示时刻开始计时.求:经过多少时间 P 质点第1次到达波谷?

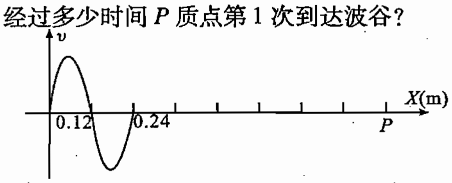


图7

【巧解】 波形平移法

现在波刚好传到 0.24m 处，要传到 P 点需要时间，P 点要第一次到波谷还需要一定的振动时间，因此总的时间等于传播时间加上振动时间，由于传到 0.24m 处的质点开始是向下振动的，所以传到 P 点，P 最初也应该向下振动，故时间 $t=\frac{\Delta x}{v}+\frac{T}{4}=\frac{0.72}{0.6}+\frac{0.4}{4}=1.3\text{s}$ 但是这样计算比较麻烦.

将波形向右平移，得到的波形如图 8 虚线所示：波形平移的距离为 0.78m，根据波速公式，$\Delta t=\frac{\Delta x}{v}=\frac{0.78}{0.6}=1.3\text{s}$

【答案】 如图虚线所示

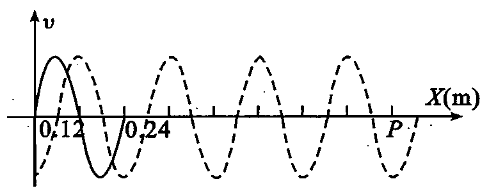
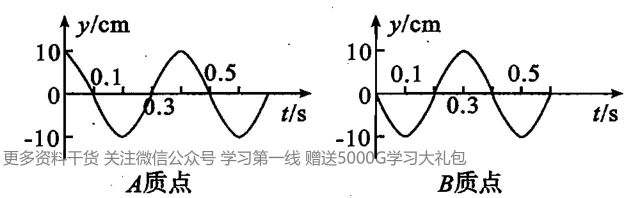


图 8

例 6 一列横波上有相距 4m 的 A、B 两点，波的传播方向是由 A 向 B，波长大于 2m，如图所示的是 A、B 两质点的振动图象，求这列波可能的波速.



更多资料干货 关注微信公众号 学习第一线 赠送5000G学习大礼包

图 9

【巧解】 假设法

画出 n 个波形，先定下一个质点 A 的位置，然后在波形上去找符合条件的 B 点，然后再写出通式，考虑限制条件，确定 n 的取值.

从 A 质点的振动图象可以知道 A 位于波峰，从 B 的振动图象可以知道 B 点位于平衡位置且正向负向振动，所以确定出 A 和 B 的可能位置如图 10 所示，故：A、B 间的距离为 $\Delta s=n\lambda+\frac{3}{4}\lambda(n=0、1、2、3、\cdots)$，则波长为 $\lambda=\frac{4\Delta s}{4n+3}=\frac{16}{4n+3}$，因为 $\lambda<2\text{m}$，所以 $n=0,1$. 当 $n=0$ 时，$\lambda_1=\frac{16}{3}\text{m}$，$v_1=\frac{\lambda}{T}=\frac{16}{3\times0.4}=\frac{40}{3}\text{m/s}$，当 $n=1$ 时，$\lambda_2=\frac{16}{7}\text{m}$，$v_2=\frac{\lambda_2}{T}=\frac{16}{7\times0.4}=\frac{40}{7}\text{m/s}$

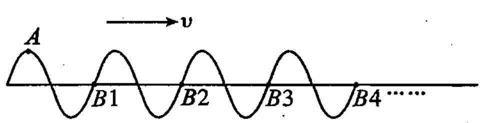


图 10

备注：此类型题的难点在波形的隐含性形成多解，因此在求解的时候一般都可以先画 n 个波形，找所需要的点，然后写通式，考虑限制条件，求解.

【答案】 40/3；40/7

例 7 （2004·湖北、湖南、重庆理科）如图 11，一简谐横波在 x 轴上传播，轴上 a、b 两点相距 12m. $t=0$ 时 a 点为波峰，b 点为波谷；$t=0.5\text{s}$ 时，a 点为波谷，b 点为波峰. 则下列判断中正确的是（ ）

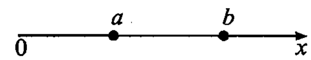


图 11

A. 波一定沿 x 轴正方向传播

B. 波长可能是 8m

C. 周期可能是 0.5s

D. 波速一定是 24m/s

【巧解】 假设法

a 点在波峰，b 点在波谷，所以 $\Delta s=12\text{m}=\frac{\lambda}{2}+n\lambda(n=0,1,2\cdots)$，经过 0.5s 时 a 点到达波谷，所以 $\Delta t=0.5\text{s}=\frac{T}{2}+nT(n=0,1,2\cdots)$，根据以上两式可以判断 B 正确，C 错误；波速 $v=\frac{\Delta S}{\Delta t}$，所以应该是一系列解，D 错误；波的传播方向无法判断，故 A 错误.

【答案】 B

例 8 （2005·上海）如图 12 所示，实线表示两个相干波源 S_1、S_2 发出的波的波峰位置，则图中的______点为振动加强的位置，图中的______点为振动减弱的位置.

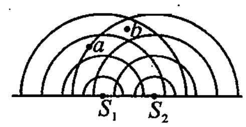


图 12

【巧解】 图象法（补全波形法）

此题的隐蔽性在于没有画出波谷的位置，所以补充波谷，这样可以很容易发现 a 点是波峰和波谷相遇点，振动减弱；b 点是波谷和波谷相遇点，振动加强.

例 9 如图 13 所示，沿 x 轴传播的两列简谐波，图中实线所示的一列沿 $+x$ 方向传播，图中虚线所示的另一列沿 $-x$ 轴方向传播，频率相等，振动方向沿 y 轴，传播速度大小相等，振幅相等，下列说法正确的是（ ）

A. 2、6、10 点是振幅最大的点

B. 0、4、8 点是振幅最大的点

C. 2、6、10 点的位移总是等于零

D. 图示时刻 4 点正向上振动

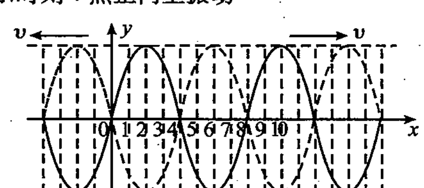


图 13

【巧解】 波形平移法

将两列波的波形向各自波传播的方向平移，然后观察质点在两列波作用下引起的位移的矢量和. 将波各自平移 $\frac{\lambda}{4}$，结果如图所示（两列波的波形重合）：

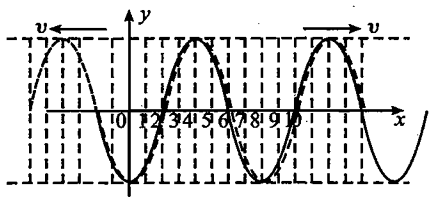


图 14

2、6、10 点的位移还是为零,继续平移位移的矢量和始终为零,所以 C 正确,A 错;0、4、8 点是波峰与波峰相遇点或波谷与波谷相遇点,所以振动加强,振幅为 2A,所以 B 正确;T/4 后时刻 4 点位于波峰,原来在平衡位置,所以可以确定 4 点必定向上振动,所以 D 正确.

例 10　如图 15 所示,s_1、s_2 是振动情况完全相同的两个机械波波源,a,b,c 三点分别位于 s_1、s_2 连线的中垂线上,且 $ab=bc$. 某时刻 a 是两列波的波峰相遇点,c 是与 a 相邻的两列波的波谷相遇点,则(　　)

A. a、b、c 处都是振动加强的点

B. b 处都是振动削弱的点

C. 经过 $T/4$ 质点 b 在波峰

D. 经过 $T/4$ 质点 b 在波谷

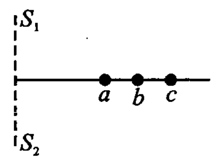


图 15

【巧解】　图象法

判断某一个点的振动加强或减弱可以利用公式计算,①最强:该点到两个波源的路程之差是波长的整数倍,即 $\delta=n\lambda$,②最弱:该点到两个波源的路程之差是半波长的奇数倍,即 $\delta=\frac{\lambda}{2}(2n+1)$.

更多资料干货 关注微信公众号 学习第一线 赠送5000G学习大礼包

但是最直观的还是图象判断,画出波形,利用波形判断,作出的波形大致如图 16 所示,a、c 肯定是振动加强的点,由于波在一个周期内传播的距离是一个波长,再过 $T/4$ 波传播的距离为 $\lambda/4$,b 为 ac 中点,所以再过 $T/4$ 时刻 b 点将是波峰和波峰相遇点,故 A、C 正确,B、D 错.

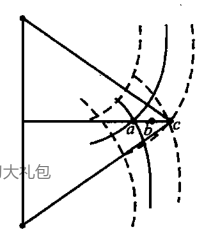


图 16

【答案】　A、C

例 11　(2006 广东卷)铺设铁轨时,每两根钢轨接缝处都必须留有一定的间隙,匀速运行列车经过轨端接缝处时,车轮就会受到一次冲击. 由于每一根钢轨长度相等,所以这个冲击力是周期性的,列车受到周期性的冲击做受迫振动. 普通钢轨长为 12.6m,列车固有振动周期为 0.315s. 下列说法正确的是(　　)

A. 列车的危险速率为 40m/s

B. 列车过桥需要减速,是为了防止列车发生共振现象

C. 列车运行的振动频率和列车的固有频率总是相等的

D. 增加钢轨的长度有利于列车高速运行

【巧解】　推理法

发生共振的条件是 $T_{驱}=T_{固}$,所以列车的危险速率为 $v=\frac{L}{T_{驱}}=\frac{L}{T_{固}}=40\text{m/s}$,A 项正确;

B 项是防止桥 发生共振的方法;D 项是应用共振的实例;C 项考查的是受迫振动的特征:受迫振动的频率等于驱动力频率,而不是等于固有频率.

【答案】　AD

例 12　(2005 · 上海高考)A、B 两列波在某时刻的波形如图 17 所示,经过 $t=T_A$ 时间(T_A 为波 A 的周期),两波再次出现如图波形,则两波的波速之比 v_A:v_B 可能是(　　)

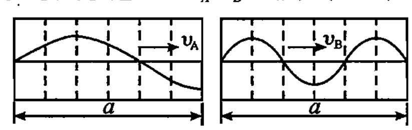


图 17

A. 1:3　　B. 1:2　　C. 2:1　　D. 3:1

【巧解】　通式法　比值法

此题主要是波形的重复性的问题,对于 A 波来说,时间间隔肯定是 T_A,但是对于 B 波来说,$t=nT(n=1,2,3\cdots\cdots)$. 波长的关系为:$\frac{3}{4}\lambda_A=a$,$\frac{3}{2}\lambda_B=a$,然后根据波速公式,可以得出:$v_A=\frac{\lambda_A}{T_A}=\frac{\frac{4}{3}a}{t}$,$v_B=\frac{\lambda_B}{T_B}=\frac{\frac{2}{3}a}{\frac{t}{n}}$,两式相比,有 $\frac{v_A}{v_B}=\frac{2}{n}(n=1,2,3\cdots\cdots)$,因此正确答案为 A、B、C.

第十七章　机械波综合测试

一、选择题(4 分×12 =48 分)

1. 关于机械波,下列说法正确的是(　　)

A. 在传播过程中能传递能量　　B. 频率由波源决定

C. 能产生干涉、衍射现象　　D. 能在真空中传播

2. 关于机械波的概念,下列说法中正确的是(　　)

A. 质点振动的方向总是垂直于波传播的方向

B. 简谐波沿长绳传播,绳上相距半个波长的两质点振动位移的大小相等

C. 任一振动质点每经过一个周期沿波的传播方向移动一个波长

D. 相隔一个周期的两时刻,简谐波的图象相同

3. 一个周期为 0.1s 的波源在甲介质中形成一列波长为 10m 的波,当此波传播到乙介质中时,波速变为 200m/s,则下列说法正确的是(　　)

A. 在甲介质中波速为 100m/s

B. 在甲介质中波的频率为 10Hz

C. 在乙介质中波长为 10m

D. 在乙介质中波的频率为 20Hz

4. 已知一列在弹性绳上传播的简谐横波在某一时刻的波形,则下列说法正确的是(　　)

A. 只要绳上一点(速度不为零的点)的振动速度方向已知,就可确定波的传播方向

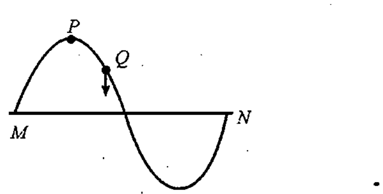
更多资料干货 关注微信公众号 学习第一线 赠送5000G学习大礼包

B. 只要波的传播方向已知,就可确定此时绳上任一点(速度不为零的点)振动的速度方向

C. 波的周期等于绳上每一点的振动周期

D. 波在传播过程中,绳上的各质点将以波的传播速度沿着波形运动

5. 一列简谐横波在介质中向某一方向传播,某一时刻的波形图如右图所示,并且此时振动只发生在 M、N 之间,若该波的周期为 T,Q 点的振动方向向下,则下列说法中正确的是(　　)



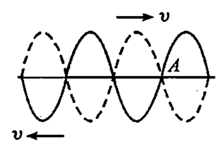
A. 波源是 M,由波源起振开始计时,P 点已振动时间 T

B. 波源是 N,由波源起振开始计时,P 点已振动时间 $\frac{3}{4}T$

C. 波源是 N,由波源起振开始计时,P 点已振动时间 $\frac{T}{4}$

D. 波源是 M,由波源起振开始计时,P 点已振动时间 $\frac{T}{4}$

6. 两列简谐横波同振幅、同波长、同速率、相向传播,某时刻两列波的波形如图所示,实线表示向左传播的波,虚线表示向右传播的波,关于图中介质质点,认识正确的是(　　)



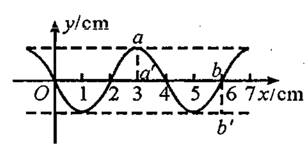
A. A 振动始终加强

B. 由图示时刻开始,再经¼周期,A 将位于波峰

C. A 振幅为零

D. 由图示时刻开始,再经¼周期,A 将位于波谷

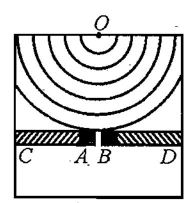
7. 已知:一简谐横波在某一时刻的波形图如图所示,图中位于 a、b 两处的质元经过四分之一周期后分别运动到 a'、b' 处,某人据此做出如下判断:正确的是(　　)



A. 可知波的周期　　B. 可知波的传播速度

C. 可知波的传播方向　　D. 可知波的波长

8. 如右图是观察水面波衍射的实验装置,AC 和 BD 是两块挡板,AB 是一个孔,O 是波源,图中已画出波源所在区域波的传播情况,每两条相邻波纹(图中曲线)之间距离表示一个波长,则波经过孔之后的传播情况,下列描述中正确的是(　　)



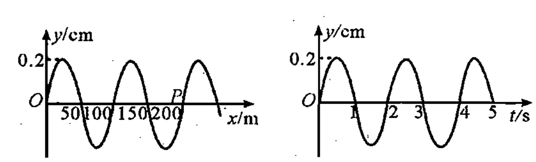
A. 此时能明显观察到波的衍射现象

B. 挡板前后波纹间距离相等

C. 如果将孔 AB 扩大,有可能观察不到明显的衍射现象

D. 如果孔的大小不变,使波源频率增大,能更明显观察到衍射现象

9. 如下图图甲所示为一列简谐横波在 $t=20s$ 时的波形图,图乙是这列波中 P 点的振动图线,那么该波的传播速度和传播方向是(　　)



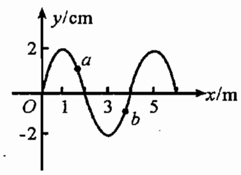
甲　　乙

A. $v=25cm/s$,向左传播　　B. $v=50cm/s$,向左传播

C. $v=25cm/s$,向右传播　　D. $v=50cm/s$,向右传播

10. 如图所示,沿 x 轴正方向传播的一列简谐波在某一时刻的波

形图为一正弦曲线，其波速为200m/s，则可推出(　　)



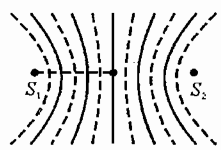
A. 再经过0.01s，图中质点a的速度方向与加速度方向相同

B. 图中质点b此时动能正在向势能转化，其加速度正在增大

C. 若发生稳定干涉现象，该波所遇到的波的频率为50Hz

D. 若发生明显衍现象，该波所遇到障碍物尺寸一般不大于2m

11. 两个振动情况完全一样的波源 S_1、S_2 相距6m，它们在空间产生的干涉图样如图所示，图中实线表示振动加强的区域，虚线表示振动减弱的区域，下列说法正确的是(　　)



A. 两波源的振动频率一定相同

B. 虚线一定是波谷与波谷相遇处

C. 两列波的波长都为2m

D. 两列波的波长都为1m

12. (2008・全国)一列简谐横波沿x轴传播，周期为T，t=0时刻的波形如图所示. 此时平衡位置位于x=3m处的质点正在向上运动，若a、b两质点平衡位置的坐标分别为 $x_a=2.5$ m，$x_b=5.5$m，则(　　)

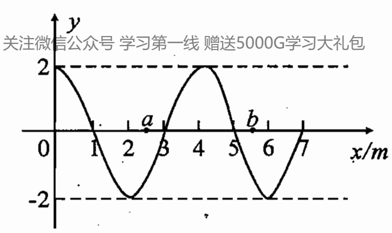
A. 当a质点处在波峰时，b质点恰在波谷

B. t=T/4时，a质点正在向y轴负方向运动

C. t=3T/4时，b质点正在向y轴负方向运动

D. 在某一时刻，a、b两质点的位移和速度可能相同

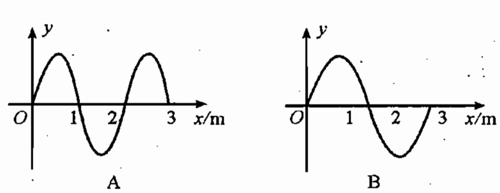
更多资料干货 关注微信公众号 学习第一线 赠送5000G学习大礼包



二、填空题(5分×5=25分)

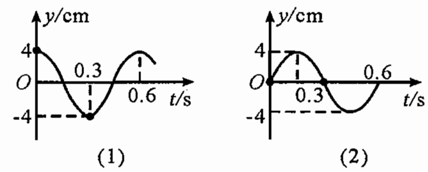
13. 用声纳装置可以测量海洋的深度，探测潜水艇的位置或鱼群的距离等. 用声纳测量海水的深度时，应垂直于水面向海底发射超声波，若超声波从发出到接收回波的时间间隔为Δt=2.4s，在海水中传播的速度为1448m/s，求海水的深度________m.

14. 如下图是A、B两列波分别在不同介质中传播的波形图，已知两列波的频率之比 $f_A:f_B=1:2$，那么这两列波在两种介质中传播速度之比为 $v_A:v_B=$________.



15. 甲、乙两船停在湖面上，相距24m，有一列水波在湖面上传播，每分钟船上下振动15次，甲船位于波峰时，乙船恰好位于波谷，它们中间只有一个波峰，此水波的波长为________，水波的传播速度为________.

16. 如图所示，(1)、(2)两图分别表示同一列简谐横波上相距3m的两个质点A和B的振动图象，已知波长为3m<λ<12m，这列波通过A、B两点所经历的时间t=________，设在AB之间有一质点P，且PA=1m，若波的传播方向由A→B，则t′=0.3s时，P点的位移y=________.



17. 蝙蝠如果每秒钟发射出50次超声波，每次发出100个频率为 10^5Hz的波，那么在空气中形成一系列断续的波列，已知空气中声速为340m/s，则每个波列的长度________m以及两列波间隔的长度________m.

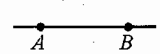
三、计算题(共27分)

18. (9分)一根静止的水平橡皮绳上有A、B两点，相距为8m，质点A竖直方向向上作简谐振动，从平衡位置到最高点所用的时间是0.5s，所形成的波相邻波峰之间的距离为4m.

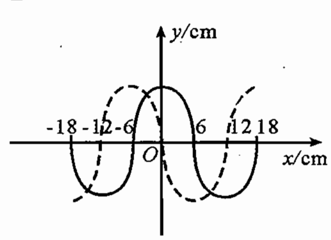
(1)波从A传到B需要多少时间?

(2)如波上A点在平衡位置突然停止振动，此后B点还能振动几次?

19. (9分)两个波源分别位于同一弹性介质中的A、B两点，如图所示，两波源均沿垂直AB连线方向同在同一竖直平面内作简谐振动，两波源的振幅相等，频率均为100Hz，开始振动时它们振动方向相同，只是A处的波源比B处的波源落后1/2周期开始振动. 若AB相距30m，两列波的波速均为400m/s，试求经过足够长的时间后，在AB之间的连线上因干涉而静止的各质点的位置.



20. (9分)如右图所示，实线是某时刻一列横波的图象，经0.4s后，其波形如右图中的虚线所示，设该波的频率在2.5~6Hz之间，求该波可能的波速.



第十八章

光

难点巧学

一、光的直线传播

1. 在同一种均匀介质中光是沿直线传播的. 日、月食的形成、影的形成、小孔成像等很多光现象都是由于光沿直线传播产生的.

2. 光从光源出发，以有限的速度向外传播，光在真空中的传播的速度约为 30 万千米每秒，即光速：

$$c = 3.0 \times 10^8 \text{m/s}$$

二、光的反射定律的巧记

反射定律内容：①反射光线与入射光线、法线在同一平面.（记为：共面）

②反射光线与入射光线分居法线的两侧.（巧记为：分居）

③反射角等于入射角.（巧记为：相等）

三、光的折射定律的巧记

折射定律内容：①折射光线与入射光线、法线在同一平面.（巧记为：共面）

②折射光线与入射光线分居法线的两侧.（巧记为：分居）

③$n_1\sin\theta_1 = n_2\sin\theta_2$，其中 n_1、n_2 为折射率，θ_1、θ_2 为光线与法线的夹角.（巧记为：相等）

更多资料干货 关注微信公众号 学习第一线 赠送5000G学习大礼包

总之，光的反射定律和折射定律都是描述光的传播的规律的定律，其都可以用"共面、分居、相等"这六个字来概括

四、光的色散规律的理解记忆

光的色散现象产生的原因是同一介质对不同色光的折射率不同而引起的，可用表格对比如下：

光的颜色	红	橙	黄	绿	蓝	靛	紫
频率	小——————→大						
折射率	小——————→大						
偏向角	小——————→大						
波长	大——————→小						
在媒质中的光速	大——————→小						

五、光从一种介质 1 进入另一种介质 2 满足的四个规律

光从一种介质 1（折射率为 n_1）进入另一种介质 2（折射率为 n_2）时，有下面四个相等：

（1）频率 f：$f_1 = f_2$

（2）角度 θ：$n_1\sin\theta_1 = n_2\sin\theta_2$

（3）波长 λ：$n_1\lambda_1 = n_2\lambda_2$

（4）光速 v：$n_1v_1 = n_2v_2$

从这四个等式的对称性可以看出，光的折射（包括反射）都具有可逆性.

活题巧解

例 1 （2010 重庆卷）如图 1 所示，空气中有一折射率为$\sqrt{2}$的玻璃柱体，其横截面是圆心角为 90°、半径为 R 的扇形 OAB、一束平行光平行于横截面，以 45°入射角射到 OA 上，OB 不透光，若只考虑首次入射到圆弧 AB 上的光，则圆弧 AB 上有光透出的部分的弧长为（　　）

A. $\frac{1}{6}\pi R$

B. $\frac{1}{4}\pi R$

C. $\frac{1}{3}\pi R$

D. $\frac{5}{12}\pi R$

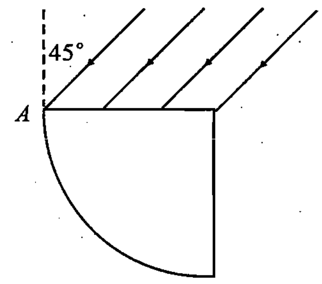


图 1

【巧解】 作图法

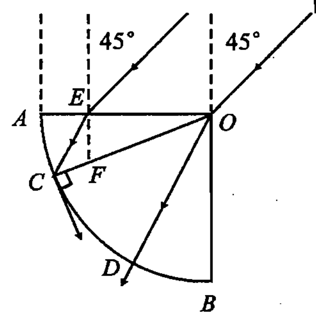


图 2

由光路图图 2 可知，入射到 E 点的光线恰好在 C 点发生全反射，由临界角公式 $\sin C = \frac{1}{n}$ 可求得 $\angle ECO = 45°$；由折射定律可得 $\angle CEF = \angle BOD = 30°$；由几何关系可得 $\angle AOC = 180° - 120° - 45° = 15°$. 显然，弧 AB 上有光透出的部分弧长 CD 为 $\frac{90° - 30° - 15°}{360°} \cdot 2\pi R = \frac{1}{4}\pi R$.

【答案】 B

例 2 （2007 全国 I 卷）在桌面上有一倒立的玻璃圆锥，其顶点恰好与桌面接触，圆锥的轴（图 3 中虚线）与桌面垂直，过轴线的截面为等边三角形，如图所示. 有一半径为 r 的圆柱形平行光束垂直入射到圆锥的底面上，光束的中心轴与圆锥的轴重合. 已知玻璃的折射率为 1.5，则光束在桌面上形成的光斑半径为（　　）

A. r　　B. 1.5r　　C. 2r　　D. 2.5r

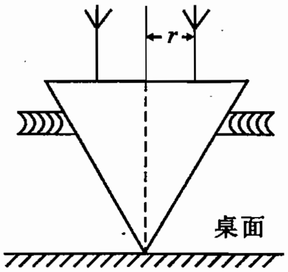


图 3

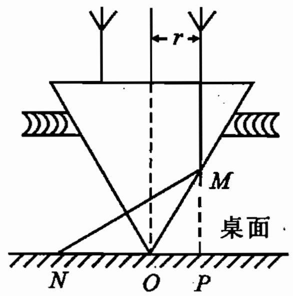


图 4

【巧解】　作图法

由于玻璃圆锥与光路具有对称性,我们只需探究一侧的光线,光路图如图 4 所示.因为

$C=\arcsin\frac{1}{n}=\arcsin\frac{2}{3}<\arcsin\frac{\sqrt{3}}{2}=60°$,所以光线在 M 点发生全反射,所以 $\angle NMO=\angle OMP=30°$,在 Rt△$OPM$ 中,因为 $OP=r$,所以 $OM=2r$. 因为△NOM 为等腰三角形,所以光束在桌面上形成的光斑半径 ON 为 $2r$.

【答案】　C

例 3　证明:若入射光线的方向不变,将平面镜绕入射点转动 θ 角,则反射光线的方向转动 2θ 角.

【巧证】　推理法

证明:因为平面镜转动 θ 角,则法线转动 θ 角,当入射光线不变时,则入射角增加(或减少)θ 角,由光的反射定律可知反射光线与法线的夹角也增加(或减少)θ 角,则反射光线与入射光线之间的夹角增加(或减少)2θ 角,即反射光线转动的角度为 2θ 角.

例 4　在两相交面镜 a、b 之间有一发光点 S,如图 5 所示,试画出 S 点发出的一条光线,使它分别经 a、b 两面镜各反射一次后,仍回到 S 点.

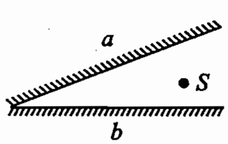


图 5

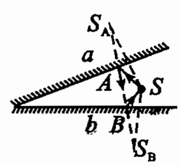


图 6

【巧解】　对称法

如图 6 分别作出 S 点关于 a 镜面的对称点 S_A 和关于 b 镜面的对称点 S_B,即 S 通过 a、b 平面镜形成的像点 S_A、S_B,连接 S_A 和 S_B,令其连线与镜面 a 和 b 分别交于 A 点和 B 点,则图中的光线 S—A—B—S 即为所求.

作图的依据是:由作法可知,S_A 和 S_B 分别为 S 在 a 镜和 b 镜中的像,则 S 发出的所有经 a 反射的光线,都好像是由 S_A 点发出的一样,而这些光线中经 b 反射再射向 S 点光线则应该是一条朝着像点 S_B 入射的光线. 因此所求光线由镜面 a 射向镜面 b 时,应该在 S_A 和 S_B 两点的连线上.

例 5　如图 7 所示,一发光点 S 从 A 点沿 AB 连线方向做直线运动,与 A 点相距 3m 处有一垂直于纸面的轴 O,OA 垂直于 AB,平面镜 MN 可绕 O 点在纸平面内旋转,为使 S 经平面镜成的像始终在与 AB 平行的 PO 连线上,则当发光点移动 3m 时,平面镜转过的角度应为(　　)

A. 30°　　B. 45°　　C. 22.5°　　D. 15°

【巧解】　对称法

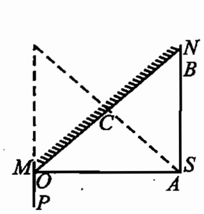


图 7

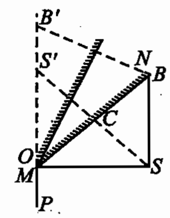


图 8

如图 8 由平面镜成像规律可知:$SC=S'C$

$\triangle OSC\cong\triangle OS'C$

所以 $\angle BOS=45°$,当发光点 S 沿 AB 竖直向上移动 3m 时,即到达原平面镜位置,像应在 OP 直线上,由对称性可知,后来平面镜应平分 $\angle S'ON$,所以平面镜应转过 22.5°角

【答案】　C

例 6　如图 9 所示,S 为一在 xoy 平面内的点光源,一平面镜垂直于 xoy 平面放置,它与 xoy 平面的交线为 MN,MN 与 x 轴的夹角 $\theta=30°$. 现保持 S 不动,令平面镜以速率 v 沿 x 轴正方向运动,则 S 经平面镜所成的像(　　)

A. 以速度 v 沿 x 轴正方向运动

B. 以速度 v 沿 y 轴正方向运动

C. 以速度 $\frac{1}{2}v$ 沿像与 S 连线方向向 S 运动

D. 以速率 v 沿像与 S 连线方向向 S 运动

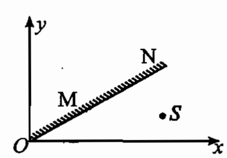


图 9

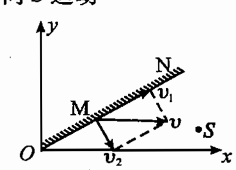


图 10

【巧解】　速度分解法

如图 10,将平面镜的速度 v 分解为和镜面平行的速度 $v_1=v\cos30°$ 和垂直于镜面的速度 $v_2=v\sin30°=0.5v$,当镜子以速度 v_1 运动时,s 的像不动,而当镜子以速度 v_2 运动时,s 的像以速度 $2v_2$ 向 s 运动. 因此答案为 D.

【答案】　D

例 7　一人自街上路灯正下方经过,看到自己头部的影子正好在自己脚下,如果人以不变的速度朝前走,则他头部的影子相对地的运动情况是(　　)

A. 匀速直线运动　　B. 匀加速直线运动

C. 变加速直线运动　　D. 无法确定

【巧解】　相似三角形法

设灯高为 H,人高为 h,如图 11,设人以速度 v_0 经时间 t 从灯的正下方到达 A 点,则根据光的直线传播规律可以知道,人头部的影子应该在 B 处. 由相似三角形知识可知,

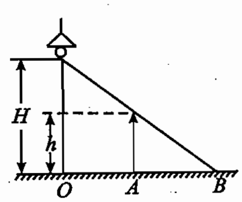


图 11

$$\frac{h}{H}=\frac{AB}{OB}=\frac{OB-OA}{OB}$$

所以:$OB=\frac{H}{H-h}\cdot OA=\frac{H}{H-h}v_0t$

不难发现，人头影的位移是时间 t 的正比例函数，所以人头部影子的运动情况应该是匀速直线运动. 选项 A 是正确的.

【答案】 A

例 8 如图 12，$\triangle ABC$ 为一直角三棱镜的截面，其顶角 $\alpha=30°$，P 是垂直于直线 BCO 的光屏. 现有一宽度等于 AB 的平行单色光束垂直射向 AB 面，结果在屏 P 上形成一宽度等于 $\frac{2}{3}AB$ 的一条光带，求棱镜的折射率.

【巧解】 几何法

如图 13，在 A 点、C 点发生折射的光线落在屏上 D、E 处，由几何关系有：

$\overline{FD}=\overline{AF}\tan(\gamma-\alpha)=(\overline{BC}+\overline{CO})\tan(\gamma-\alpha)=(\overline{AB}\tan\alpha+\overline{CO})\tan(\gamma-\alpha)$

$\overline{OE}=\overline{CO}\tan(\gamma-\alpha)$

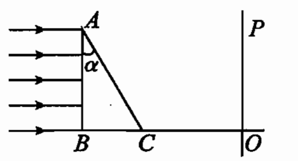


图 12

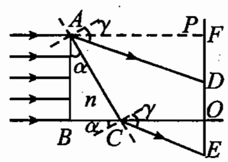


图 13

光带宽为：$\overline{DE}=\overline{FO}-\overline{FD}+\overline{OE}=\overline{AB}-(\overline{AB}\tan\alpha-\overline{CO})\tan(\gamma-\alpha)+\overline{CO}\tan(\gamma-\alpha)$

$=\overline{AB}[1-\tan\alpha\tan(\gamma-\alpha)]=\frac{2}{3}\overline{AB}$

由此可求知，$\gamma=60°$，所以折射率为：$n=\frac{\sin\gamma}{\sin\alpha}=\sqrt{3}$

【答案】 $\sqrt{3}$

例 9 一人站在湖边塔楼顶上观察空中的气球，已知楼顶离湖面高为 H，人高不计. 他看空中静止的气球时，仰角为 30°. 他看水中气球的虚像时，俯角是 60°，问气球静止在湖面上方，离湖面多高？

【巧解】 几何法

几何光学的突出特点是几何作图. 此题作图的技巧是：先画一条水平线（在塔楼顶上）AB. A 为塔楼顶端，过 A 点做 AS 直线且 $\angle SAB=30°$. 过 A 点作垂直于 AS 的直线（用虚线）AS'，且 SS' 直线（用虚线）垂直于 AB. SS' 直线交 AB 于 C 点. 找到 SS' 直线的中点 O，过 O 点作 SS' 的垂线 MN，MN 交 AS' 于 D 点，用实线连接 AD、DS，且标明 AS、AD、DC 的光线箭头. 如图 14 所示，注意箭头方向不要画反，A 点为观察者. 过 A 点作 MN 的垂线交 MN 于 E 点. AE 即为塔楼高，S' 为气球 S 的像. SO 即为所求 h.

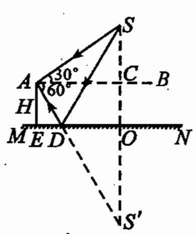


图 14

由图可知：
$$\begin{cases}\tan30°=\frac{SC}{AC}=\frac{h-H}{AC} & ①\\ \tan60°=\frac{CS'}{AC}=\frac{h+H}{AC} & ②\end{cases}$$

$\frac{①}{②}$得：$\frac{1}{3}=\frac{h-H}{h+H}$

解得：$h=2H$

【答案】 $2H$

例 10 图 15 中 AB 表示一水平的平面镜，P_1P_2 是水平放置的米尺（有刻度的一面朝着平面镜），MN 是屏，三者相互平行，屏 MN 上的 ab 表示一条竖直的缝（即 a、b 之间是透光的）. 某人眼睛紧贴米尺上的小孔 S（其位置见图），可通过平面镜看到米尺的一部分刻度. 试在本题的图上用三角板作图求出可看到的部位. 并依次写出作图的步骤.

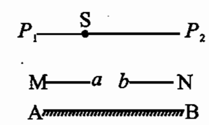


图 15

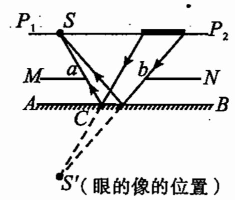


图 16

【巧解】 对称法

图 16 作图步骤：

①作 S 点关于 AB 的对称点 S'，S'就是 S 的像点.

②连接 S，a 并延长，与 AB 交于 C 点.

③连接 S'，C 并延长，与 P_1P_2 交于一点，此点就是可看到部位的左端.

④连接 S'，b 并延长，与 P_1P_2 交于一点，此点就是可看到部位的右端.

例 11 如图 17 所示，水平面上方有半径为 r 的圆形面光源 S 和跟它形状完全一样的不透光挡板 M，S 和 M 都平行于水平面 P，它们圆心的连线垂直于平面 P，且 M 到 S 和 P 的距离相等. 那么平面 P 上的本影区和半影区的面积之比为____.

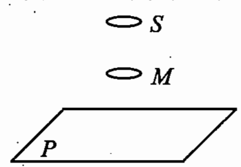


图 17

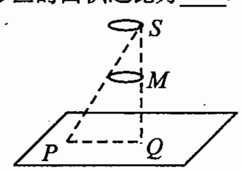


图 18

【巧解】 相似法

如图 18，从 S 的右边缘 S 作平面的垂线交挡板于 M，交平面于 Q；从 S 过挡板的左边缘作直线交平面于 P，由于 $SM=MQ$，所以由三角形相似得 $PQ=4r$，因此影子的半径为 $R=4r-r=3r$，因此本影区面积与半影区面积之比为：

$$\frac{S_{本}}{S_{半}}=\frac{\pi r^2}{\pi R^2-\pi r^2}=\frac{1}{8}$$

【答案】 1:8

例 12 有一个地球赤道上方飞行的人造卫星，日落两小时后赤道附近的人仍能在正上方看到它，试求该卫星的可能最低高度.

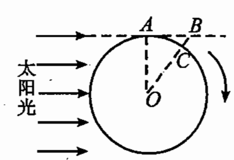


图 19

【巧解】 分析法

如图 19，人在 A 点时，开始日落，假设两小时后到 C 点，据题意，卫星必在 CB 的连线的延长线上. 如图中的 B 点为卫星的最低位置.

地球一昼夜用时 24 小时，转 360°.

两小时转过 $\angle AOC=360°\div24\times2=30°$

卫星最低高度为：

$h=BC=\frac{R}{\cos30^\circ}-R=\frac{2R}{\sqrt{3}}-R=R(\frac{2-\sqrt{3}}{\sqrt{3}})=\frac{2\sqrt{3}-3}{3}R\approx0.155R$

【答案】 0.155R

例13 某水池，实际深h，垂直水面往下看，其视深为多少？（设水的折射率为n）

【巧解】 推理法

如图20，设水底N处一光线经M点从水中射向空气并射入人眼．在M点光线发生折射，满足折射定律，有$n\sin\beta=\sin\alpha$.

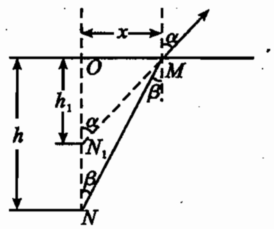


图20

由于人垂直水面向下看，所以，α、β都很小．因此

$\sin\beta\approx\tan\beta=\frac{OM}{ON}=\frac{x}{h}$　　　$\sin\alpha\approx\tan\alpha=\frac{OM}{ON_1}=\frac{x}{h_1}$

所以得：$h_1=\frac{h}{n}$

【答案】 h/n

例14 如图21，一个人发现水中S处有一溺水者，溺水者离岸的距离$SB=10$m，而发现者在A处，距B点的距离为20m，此人在岸上跑动的速度为5m/s，而在水中的速度为1m/s，发现者为尽快到达溺水者处，他应在何处下水？

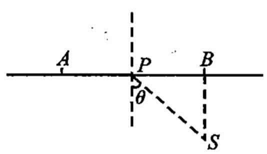


图21

【巧解】 类比法

这是一个运动学问题，但与光的折射现象有相似之处，发现者为了尽快到达S处，假设他从P处下水（$BP=x$），就相当于入射光的入射角为$\theta_1=90^\circ$，

更多资料下载 关注微信公众号 学习第一线 赠送5000G学习大礼包

$\frac{\sin\theta_1}{\sin\theta_2}=\frac{v_1}{v_2}=5$　且$\sin\theta_2=\frac{x}{\sqrt{10^2+x^2}}$

$\therefore\frac{\sqrt{10^2+x^2}}{x}=5$

$\therefore x=\frac{5}{6}\sqrt{6}\text{m}=2.04\text{m}$．即发现者应从距$B$点2.04m处下水．

【答案】 发现者应从距B点2.04m处下水．

例15 小球位于竖直墙壁OM和水平地面ON一定距离处P点，且P到OM距离为L．紧靠小球（小球视为质点）左侧有一固定点光源S，如图22所示，今小球以初速度v_0水平抛出，则小球在空中运动的过程中其影子沿墙面移动时在任一点的瞬时速度为多大？

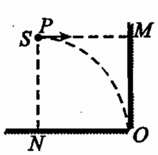


图22

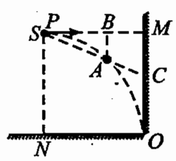


图23

【巧解】 相似三角形法

如图23所示，设小球经过时间t运动到A点，影子在墙上的C点，设$MC=h$

由平抛运动的规律有：

$PB=v_0t$　　　$BA=\frac{1}{2}gt^2$

又$\triangle PBA\backsim\triangle PCM$

有：$\frac{MC}{PM}=\frac{AB}{PB}$即$\frac{h}{L}=\frac{\frac{1}{2}gt^2}{v_0t}$

所以：$h=\frac{gL}{2v_0}t$

由于$\frac{gL}{2v_0}$为定值（设为v），故$h=vt$

这说明影子以$v=\frac{gL}{2v_0}$的速度匀速沿墙向下运动．

【答案】 速度$v=\frac{gL}{2v_0}$

例16 如图24，长为l、折射率为n的玻璃砖，若光线从A端射入恰好在其中发生全反射，经多次全反射后恰从B端射出，光在真空中的速度为c，试求光从A传到B的时间．

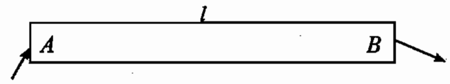


图24

【巧解】 等效法

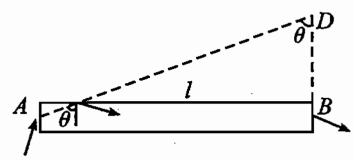


图25

如图25，设光在玻璃砖内发生全反射的临界角为θ，则光在玻璃砖走的路程等于如图的AD长（设为s），玻璃中光速为：$v=c/n$

由全反射的条件得：$\sin\theta=\frac{1}{n}$

故光从A传到B的时间为：

$t=\frac{s}{v}=\frac{\frac{l}{\sin\theta}}{\frac{c}{n}}=\frac{n^2l}{c}$

【答案】 $\frac{n^2l}{c}$

例17 如图26，SC表示一堵墙，光源S发出的一束水平光线射向竖直平面镜上O点，且平面镜绕竖直轴O点作角速度为ω逆时针转动，当镜面与光线夹角为60°时，反射光线射到墙上的C点，求此时C点的速度．已知O、S两点距离为d.

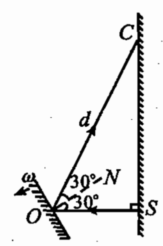


图26

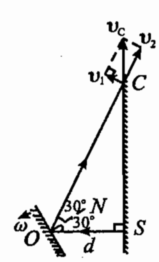


图27

【巧解】 速度分解法

如图 27,当平面镜绕 O 点作角速度为 ω 逆时针转动时,反射光 OC 则以角速度 2ω 转动,光点 C 的速度 v_C 可以看出由分速度 v_1、v_2 合成. 其中

$v_1 = r\times 2\omega = OC\times 2\omega$

而 $OC=\dfrac{d}{\cos60^\circ}=2d$

所以 $v_C=\dfrac{v_1}{\cos60^\circ}=2v_1=2\times2d\times2\omega=8d\omega$

【答案】 8dω

例 18 (全国高考题)在折射率为 n、厚度为 d 的玻璃平板上方的空气中有一点光源 S,从 S 发出的光线 SA 以角度 θ 入射到玻璃板上表面,经过玻璃板后从下表面射出,如右图 28 所示. 若沿此光线传播的光从光源到玻璃板上表面的传播时间与在玻璃板中的传播时间相等,点光源 S 到玻璃上表面的垂直距离 l 应是多少?

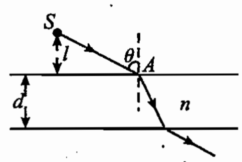


图 28

【巧解】 分析法

光从光源到玻璃板上表面传播时间为:$t_1=\dfrac{l}{c\cos\theta}$

光在玻璃板中传播时间为:$t_2=\dfrac{d}{v\cos i}$(i 表示折射角)

据题意:$t_1=t_2$ 且 $v=c/n$

即:$\dfrac{l}{c\cos\theta}=\dfrac{dn}{c\cos i}$

点光源 S 到玻璃上表面的垂直距离:

$l=\dfrac{dn\cos\theta}{\cos i}=\dfrac{dn\cos\theta}{\sqrt{1-\sin^2 i}}=\dfrac{dn\cos\theta}{\sqrt{1-\sin^2\theta/n^2}}$

更多资料干货 关注微信公众号 学习第一线 赠送5000G学习大礼包

【答案】 $\dfrac{dn\cos\theta}{\sqrt{1-\sin^2\theta/n^2}}$

例 19 (全国高考题)一辆实验小车可沿水平地面(图中纸面)上的长直轨道匀速向右运动. 有一台发出细光束的激光器在小转台 M 上,到轨道的距离 MN 为 $d=10$m,如图 29 所示. 转台匀速转动,使激光束在水平面内扫描,扫描一周的时间为 $T=60$s. 光束转动方向如图中箭头所示. 当光束与 MN 的夹角为 45°时,光束正好射到小车上. 如果再经过 $\Delta t=2.5$s 光束又射到小车上,则小车的速度是多少?(结果保留二位数字)

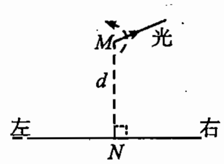


图 29

【巧解】 穷举法

(1)如图 30,光束照到小车时,小车正在接近 N 点,对于小车:

$v=\dfrac{l_1}{\Delta t}$ ①

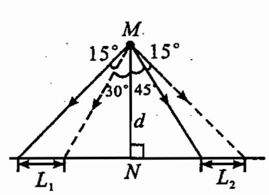


图 30

$\Delta\varphi=\dfrac{\Delta t}{T}\times360^\circ=15^\circ$ ②

由图可知 $L_1=d(tg45^\circ-tg30^\circ)$ ③

由②③两式并代入数值,得

$v_1=1.7m/s$ ④

(2)光束照到小车时,小车正在远离 N 点,Δt 内光束与 MN 的夹角从 45°变为 60°,小车走过 L_2,速度为

$v_2=\dfrac{L_2}{\Delta t}$ ⑤

由图可知 $L_2=d(tg60^\circ-tg45^\circ)$ ⑥

由⑤⑥两式并代入数值,得

$v_2=2.9m/s$ ⑦

【答案】 $v_1=1.7m/s$ 或 $v_2=2.9m/s$

例 20 (2007 江苏卷)如图 31 所示,巡查员站立于一空的贮液池边,检查池角处出液口的安全情况. 已知池宽为 L,照明灯到池底的距离为 H. 若保持照明光束方向不变,向贮液池中注入某种液体,当液面高为 $\dfrac{H}{2}$ 时,池底的光斑距离出液口 $\dfrac{L}{4}$.

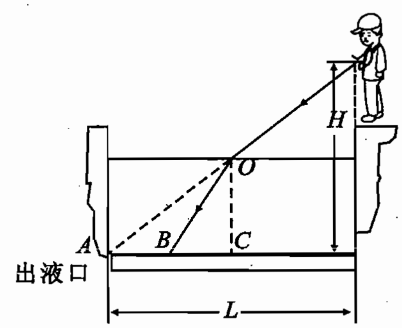


图 31

(1)试求当液面高为 $\dfrac{2H}{3}$ 时,池底的光斑到出液口的距离 x.

(2)控制出液口缓慢地排出液体,使液面以 v_h 的速率匀速下降,试求池底的光斑移动的速率 v_x.

【巧解】 函数思想 微分思想

(1)设 $OC=h$,$AB=x$,$BC=1$. 因为折射率和光束方向不变,所以 x 为 h 的函数.

由三角形相似可得

$\dfrac{x+l}{h}=\dfrac{L}{H}$………①

由折射角不变可得

$\dfrac{l}{h}=$ 定值………②

又因为 $h=\dfrac{H}{2}$ 时,$x=\dfrac{L}{4}$………③

由①②③得

$x=\dfrac{L}{2H}h$………④

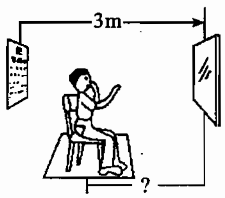
(2)对④求导数,得

$v_x=\dfrac{L}{2H}v_h$.

第十八章　光综合测试

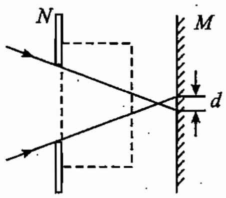
一、选择题(4 分×12 =48 分.)

1. 检查视力时人与视力表之间的距离应为 5m,现因屋子太小而使用一个平面镜,视力表到镜子的距离为 3m,如下图所示,那么人到镜中的视力表的距离和人到镜子的距离分别为(　　)



A. 5m,2m　　B. 6m,2m　　C. 4.5m,1.5m　　D. 4m,1m

2. 如右图所示,有一会聚光束通过带有圆孔的挡板 N,在与挡板一定距离处平行于挡板的屏 M 上留下直径为 d_1 的亮斑,如果用厚玻璃板挡住圆孔,则亮斑的直径变为 d_2,那么 d_1 与 d_2 的关系有(　　)

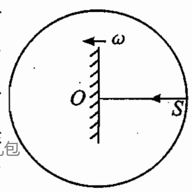


①$d_2 < d_1$　②$d_2 > d_1$　③$d_2 = d_1$

A. 只可能是①　　B. 只可能是②

C. 只可能是①、②　　D. ①②③均有可能

3. 一平面镜放在圆筒的中心处,平面镜正对筒壁上一点光源 S,平面镜从如右图所示的位置开始以角速度 ω 绕圆筒轴(轴垂直于纸面)O 匀速转动,在其转动 45°角的过程中,点光源在镜中所成的像做圆周运动的角速度为 ω_1,反射光斑运动的角速度为 ω_2,则下列关系中正确的是(　　)

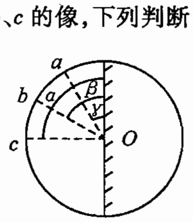


更多资料干货 关注微信公众号 学习第一线 赠送5000G学习大礼包

A. $\omega_1 = 2\omega, \omega_2 = 2\omega$　　B. $\omega_1 = \omega, \omega_2 = 2\omega$

C. $\omega_1 = 2\omega, \omega_2 = \omega$　　D. $\omega_1 = \omega, \omega_2 = \omega$

4. 如右图所示,以平面镜的高度为直径作一圆,使圆所在的平面与平面镜垂直,在圆周上有三个发光点 a、b、c,若 a、b、c 跟圆心 O 的连线与平面镜的夹角分别为 α、β、γ,人眼位于圆所在平面,在镜前一定范围内可看到发光点 a、b、c 的像,下列判断正确的是(本题中像的观测范围是指边界光线间夹角)(　　)



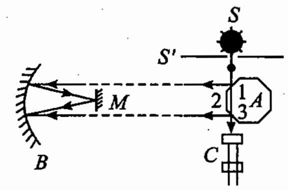
A. 观测到 a 点像的范围最大

B. 观测到 c 点像的范围最大

C. 观测到 a、b、c 三点像的范围一样大

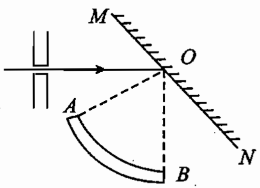
D. 观测到 a、b、c 三点像的范围不一样大

5. 如下图所示是物理学家迈克耳逊测定光速的实验示意图. 八面镜静止不动时,望远镜 C 中可见光源 S 的像,现在使八面镜开始转动,并且使转速逐渐增大到每秒 n 转时,在望远镜 C 中又可看到光源 S 的像,如果测得八面镜与凹镜之间的距离是 L,凹镜与平面镜之间的距离可以忽略,则测得的光速是(　　)



A. $16nL$　　B. $8nL$　　C. $4nL$　　D. $2nL$

6. 如右图所示,平面镜 MN 以 $\omega = \frac{\pi}{3}$ rad/s 的角速度绕垂直于纸面的且过 O 点的轴转动,AB 为一段圆弧形屏幕,它的圆心在 O 点,张角为 60°,现在一束来自频闪光源的光线,从一个固定方向射向平面镜的 O 点上,当光源每秒闪 12 次时,镜每转一周屏幕 AB 上出现的光点数量可能是(　　)



A. 3 个　　B. 6 个　　C. 12 个　　D. 24 个

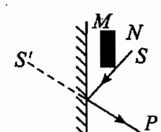
7. 一点光源 S 经平面镜 M 成像于 S',人眼于 P 点可以观察到像 S',如右图所示,今在 S、M 间放一遮光板 N,则(　　)

A. S 不能在 M 中成像

B. S 仍能在 M 中成像

C. 人眼观察到的 S' 的亮度将变小

D. 人眼观察到的 S' 的亮度不变



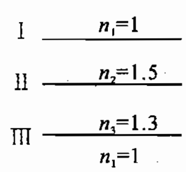
8. 如右图所示,3 种不同的介质叠放在一起,且界面互相平行,介质 1 的折射率 $n_1 = 1$,介质 2 的折射率 $n_2 = 1.5$,介质 3 的折射率 $n_3 = 1.3$,现有一束单色光射到界面 Ⅰ 上,则下述判断正确的是(　　)

A. 该光束可能在界面 Ⅰ 上发生全反射

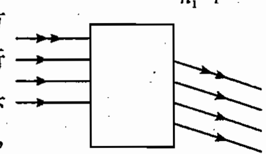
B. 该光束可能在界面 Ⅱ 上发生全反射

C. 该光束可能在界面 Ⅲ 上发生全反射

D. 该光束在 3 个界面上均不发生全反射



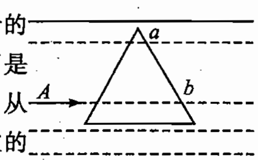
9. 如右图所示,单色平行光速从左方射入方框,从方框出射的也是平行光束. 出射光束的单箭头和双箭头分别对应于入射光束的两个边缘,则方框内可能放有(　　)



A. 一块平面镜　　B. 一个凸透镜

C. 一个凹透镜　　D. 一个三棱镜

10. 如右图所示,在水中有一厚度不计的薄玻璃片做成的中空三棱镜,里面是空气,一束光 A 从三棱镜左边射入,从三棱镜右边射出时发生色散,色散的可见光分布在 a 点、b 点之间,则(　　)



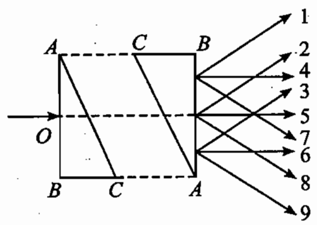
A. 从 a 点射出的是红光,从 b 点射出的是紫光

B. 从 a 点射出的是紫光,从 b 点射出的是红光

C. 从 a 点和 b 点射出的都是红光,从 a、b 中点射出的是紫光

D. 从 a 点和 b 点射出的都是紫光,从 a、b 中点射出的是红光

11. 如下图所示,两块同样的玻璃直角三棱镜 ABC,两者的 AC 面是平行放置的,在它们之间是均匀的未知透明介质. 一单色细光束 O 垂直于 AB 面入射,在图示的出射光线中(　　)



A. 1、2、3(彼此平行)中的任一条都有可能

B. 4、5、6(彼此平行)中的任一条都有可能

C. 7、8、9(彼此平行)中的任一条都有可能

D. 只能是 4、6 中的某一条

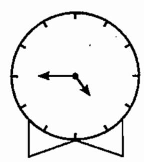
12. 光在某种玻璃中的传播速度是 $\sqrt{3}\times10^8$ m/s,要使光由玻璃射入空气时折射光线与反射光线成 90° 夹角,则入射角应是(　　)

A. 30°　　B. 60°　　C. 45°　　D. 90°

二、填空题(每小题 4 分,共 16 分)

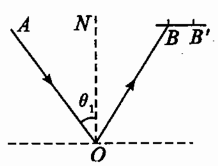
13. 杨利伟乘"神舟五号"飞船绕地球飞行一周的时间约为 90 分钟,这样他在 24 小时内可以遇到的日出日落的次数应为________.

14. 某台钟面上没有数字,只有刻度线,从平面镜里看到钟面的像如右图所示,指针指示的时刻是________.

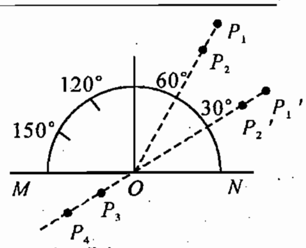


更多资料干货 关注微信公众号 学习第一线 赠送5000G学习大礼包

15. 如右图所示,激光液面控制仪的原理是:固定的一束激光 AO 以入射角 θ_1 照射液面,反射光 OB 射到水平光屏上,屏上用一光电管将光讯号转换成电讯号,电讯号输入控制系统用以控制液面的高度,如果发现光点在屏上向右移动了 ΔS 的距离,射到 B' 点,液面的变化是________.



16. 如下图所示,一半圆形玻璃砖外面插上 P_1、P_2、P_3、P_4 四枚大头针时,P_3、P_4 恰可挡住 P_1、P_2 所成的像,则该玻璃砖的折射率 $n=$________. 有一同学把大头针插在 P_1' 和 P_2' 位置时,沿着 P_4、P_3 的方向看不到大头针的像,其原因是:________________.



三、计算题(9 分×4=36 分)

17. (9 分,2008·山东)麦克斯韦在 1865 年发表的《电磁场的动力学理论》一文中揭示了电、磁现象与光的内在联系及统一性,即光是电磁波.

(1)一单色光波在折射率为 1.5 的介质中传播,某时刻电场横波图象如图 1 所示,求该光波的频率;

(2)图 2 表示两面平行玻璃砖的截面图,一束平行于 CD 边的单色光入射到 AC 界面上,a、b 是其中的两条平行光线. 光线 a 在玻璃砖中的光路已给出. 画出光线 b 从玻璃砖中首次出射的光路图,并标出出射光线与界面法线夹角的度数.

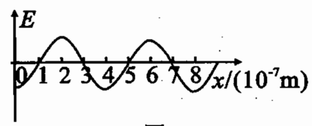


图1

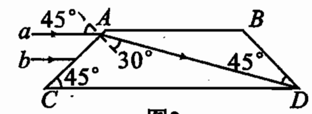
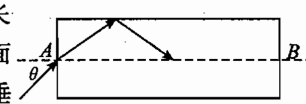


图2

18. (9 分)如右图所示,一不透明的圆柱形容器内装满折射率为 $n=\sqrt{2}$ 的透明液体,容器底部正中央 O 点处有一点光源 S,平面镜 MN 与底面成 45°角放置. 若容器高为 2dm,底边半径为 $(1+\sqrt{3})$ dm,$OM=1$ dm,在容器中央正上方 1dm 处水平放置一足够长的刻度尺,求光源 S 发出的光线经平面镜反射后,照射到刻度尺上的长度.(不考虑容器侧壁和液面的反射)

19. (9 分)如右图所示的是一根长直实心圆柱形玻璃棒横截面图,其两端是平面,且与轴线垂直,一束激光从对 AB 轴成某一角度 θ 射入玻璃棒,若该玻璃棒的折射率为 n,玻璃外都是空气,求:



(1)射入玻璃棒内的激光束恰好能在玻璃壁上发生全反射的入射角最大值 θ_m;

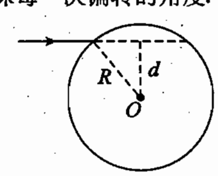
(2)如果要让激光束以任意角度从玻璃棒的一个端面射入都能从另一端面射出,这时玻璃棒的折射率最小应多大?

(3)如果玻璃棒长为 L,折射率为 n,且激光束以略于 θ_m 的入射角射入玻璃棒的一个侧面,那么光经过多次全反射到达另一端面所需的时间是多少?

20. (9 分)雨过天晴,人们常看到天空中出现彩虹,它是由阳光照射到空中弥漫的水珠上时出现的现象,在说明这个现象时,需要分析光线射入水珠后的光路,一细束光线射入水珠,水珠可视为一个半径为 R 的球,球心 O 到入射光线的垂直距离为 d,水的折射率为 n,如右下图.

(1)在图中画出该束光线射入水珠内经一次反射后又从水珠中射出的光路图;

(2)求这束光线从射向水珠到射出水珠每一次偏转的角度.



第十九章

光的波动性

难点巧学

一、利用"分光"的方法获得相干光源

由于物质发光的特殊性，任何两个独立的光源发出的光叠加均不能产生干涉现象，只有采用特殊的方法从同一光源分离出两列频率相同的光波相叠加，才能发生干涉现象. 双缝干涉、薄膜干涉等都是采用这种"发光"方法而获得相干光源的.

二、巧用干涉增加透射光强度

在光的薄膜干涉中，前后表面反射光的路程差由膜的厚度决定，所以薄膜干涉中同一明条纹或同一暗条纹应出现在膜的厚度相同的地方，由于光波波长极短，因此做薄膜干涉所用介质膜应足够薄，才能观察到干涉条纹.

增透膜的特点是使反射光叠加后减弱，所以薄膜前后两面的反射光的光路程差为波长的一半，故增强透射光的强度照相机增透膜的厚度为透射光在薄膜中波长的$\frac{1}{4}$倍.

三、巧用干涉现象检查平面凸或凹的规律

更多资料干货 关注微信公众号 学习第一线 赠送5000G学习大礼包

如图1所示，两板之间形成一层空气膜，用单色光从上向下照射，如果被检测平面是平滑的，得到的干涉图样必是等间距的，如果某处凹下，则对应明纹（或暗纹）提前出现，如果某处凸起来，则对应条纹延后出现，如图所示.（注："提前"与"延后"不是指在时间上. 而是指由左向右的顺序位置上.）

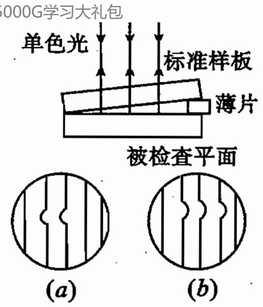


图 1

四、利用反射和折射得到互相垂直的偏振光

自然光射到两种介质的交界面上，如果入射光的方向合适，使反射光和折射光之间的夹角恰好是90°时，反射光和折射光都是偏振光，且偏振方向相互垂直.

活题巧解

例1　在双缝干涉实验中，观察到的实验现象是(　　)

A. 双缝间距越小，单色光的波长越大，干涉条纹间距越大

B. 双缝间距越大，单色光的频率越大，干涉条纹间距越大

C. 屏到双缝的距离越大，双缝间距越大，屏上条纹间距越大

D. 屏到双缝的距离越小，双缝间距越小，屏上条纹间距越大

【巧解】　公式法

如图2所示，P_0为明条纹，若两束光到P_1点的光程差$\Delta S=\lambda$，则P_1为明条纹，由条纹间距公式$\Delta x=\frac{l}{d}\lambda$可知，$\lambda$越大，$x$越大；缝到屏的距离$L$越大，$x$越大；$d$越小，$x$越大.

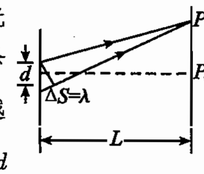


图 2

【答案】　A

例2　做双缝干涉实验时，让红光透过双缝，屏上呈现稳定的等距的明暗相同的红色条纹，若将其中的一个窄缝挡住（其他条件不变）屏上将呈现(　　)

A. 光源的像

B. 一片红光

C. 仍为明暗相间的等距条纹，只是暗一些

D. 出现明暗相间的不等距条纹

【巧解】　推理法

双缝时出现的是干涉条纹，干涉条纹是等距的，挡住一个缝时只剩下一条缝，屏上出现的是衍射条纹，衍射条纹是不等距的，所以此时屏上出现的是不等距的明暗相间的条纹.

【答案】　D

例3　两个偏振片紧靠在一起，将它们放在一盏灯的前面并且没有光通过，如果将其中的一片旋转180°，在旋转过程中，将会产生下述的哪一种现象(　　)

A. 透过偏振片的光强先增强，然后又减小到零

B. 透过偏振片的光先增强，然后减小到非零的最小值

C. 透过的光强在整个过程中都增强

D. 透光的光强先增强，再减弱，然后又增强

【巧解】　推理法

开始没有光通过，说明两偏振片透光偏振方向互相垂直，所以没有光透出，将其中的一片旋转，在从0°到90°的过程中透过的光逐渐加强，在从90°到180°的过程中光又逐渐减少到零.

【答案】　A

例4　雨后公路的积水上漂着薄薄的油层，看上去有很多彩色条纹，其中有一条绿色花纹和一条与之相邻的蓝色花纹，在这两条花纹处，哪里的油层更薄些？为什么？它们是如何产生的？

【巧解】　分析法

蓝色花纹处的油膜更薄些，从油层上下两表面反射上来的

各种色光中，如果某种色光叠加后相互加强，看起来就是这种颜色，蓝光的波长比绿光短，与绿光相比，油膜应该更薄一些，上下表面反射的光才会相互加强.

【答案】 蓝光处更薄些，原因见解析.

例5 一束频率是 5×10^{14}Hz 的单色光入射双缝.

(1)若双缝到屏上某点的路程差为零，则该点将出现________(填“明”或“暗”)条纹.

(2)若双缝到屏上某点的路程差为 9000 埃，则该点将出现________(填“明”或“暗”)条纹.

(3)若双缝到屏上某点的路程差为 1200 埃，由该点将出现________(填“明”或“暗”)条纹.

(4)若换用频率为 6×10^{14}Hz 的单色光入射双缝，则条纹间距将比原来________.(填“增大”或“减小”)

【巧解】 公式法

$\lambda=\dfrac{c}{f}=\dfrac{3.0\times10^{8}\times10^{10}\text{埃}}{5\times10^{14}}=6000$ 埃.

$n_1=\dfrac{9000}{6000}=\dfrac{3}{2}$，是半波长的奇数倍，出现暗条纹；

$n_2=\dfrac{12000}{6000}=2$，是半波长的偶数倍，出现明条纹；

若换用频率为 6×10^{14}Hz 的单色光入射双缝，由公式 $\Delta x=\dfrac{L}{d}\lambda$ 可知，间距减少.

【答案】 明；暗；明；减小.

例6 如图 3 所示，是干涉法检验某块厚玻璃板的上表面是否平整的装置，所用单色光是用普通光源加滤光片产生的，检查中所观察到的干涉条纹是由下列哪两个表面反射的光线叠加而成的( )

更多资料干货 关注微信公众号 学习第一线 赠送5000G学习大礼包

A. a 的上表面和 b 的下表面

B. a 的上表面和 b 的上表面

C. a 的下表面和 b 的上表面

D. a 的下表面和 b 的下表面

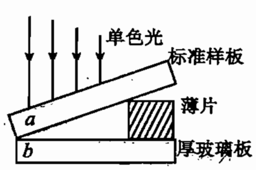


图 3

【巧解】 分析法

光经劈形空气膜光程差不一样，所以干涉条纹是在劈形空气膜上下表面即 a 的下表面和 b 的上表面形成的.

【答案】 C

例7 在杨氏双缝干涉实验中，用白光照射单缝，在其后面的双缝处，一个用红色玻璃挡住，另一个用蓝色玻璃挡住，则在屏上将( )

A. 呈现彩色的干涉条纹 B. 呈现红色的干涉条纹

C. 呈现蓝色的干涉条纹 D. 没有干涉条纹

【巧解】 排除法

透过红色玻璃的只有红光，透过蓝色玻璃的只有蓝光，而红光和蓝光的频率不同，不能发生干涉，所以屏上将不会出现干涉条纹.

【答案】 D

例8 下列现象属于光的干涉的是( )

A. 天空中出现的彩虹

B. 阳光通过三棱镜形成的彩色光带

C. 通过绸布观察远处的路灯，看到的彩色花纹

D. 增透膜可以增加透射光的强度

【巧解】 淘汰法

彩虹是由于光的折射；三棱镜形成的彩色光带是光的折射形成的光谱；透过绸布看路灯看到的彩色花纹是光的衍射；增透膜是利用光的干涉现象.

【答案】 D

例9 下列说法正确的是( )

A. 用白光做光的干涉实验时，偏离中央明条纹较远的是紫光

B. 用白光做光的干涉实验时，偏离中央明条纹较远的是红光

C. 涂有增透膜的照相机镜头，增强了对紫光的透射程度

D. 从肥皂膜上看到的彩色条纹是从膜的两表面反射的光相干涉的结果

【巧解】 分析法

在光的干涉实验中，有 $\Delta x=\dfrac{L}{d}\lambda$，即条纹间距与光的波长成正比，而红光的波长最长，故偏离中央明条纹最远的是红光；增透膜应该增透的是人的视觉最敏感的光(绿光)，从而使所成的像既明亮又清晰；肥皂膜上的条纹是由于光从膜前、后表面反射后相干涉而形成的.

【答案】 B、D

例10 利用单缝衍射得到的绿光做双缝干涉实验，在光屏上呈现出明、暗相间的条纹，相邻两条明条纹间的距离为 Δx. 下列说法中正确的有( )

A. 如果增大单缝到双缝之间的距离，Δx 将增大

B. 如果增大双缝之间的距离，Δx 将增大

C. 如果增大双缝到光屏之间的距离，Δx 将增大

D. 如果减小双缝每条缝的宽度，而不改变双缝间的距离，Δx 将增大

【巧解】 推理法

公式 $\Delta x=\dfrac{L}{d}\lambda$ 中，L 表示双缝到光屏的距离，d 表示双缝之间的距离. 因此 Δx 与单缝到双缝间的距离无关，与缝本身的宽度也无关.

【答案】 C

例11 为了转播火箭发射现场的实况，在发射场附近建立了发射台，用于发射广播和电视两种信号. 其中广播电台用的电磁波波长为 550m，电视台用的电磁波波长为 0.566m. 为了不让发射场附近的小山挡住信号，需要在小山顶上建一个转发站，用来转发________信号，这是因为该信号的波长太________，不易发生明显衍射.

【巧解】 分析法

电磁波的波长越长，越容易发生衍射；波长越短，衍射越不明显，表现出直线传播性．这时就需要在山顶建转发站．因此本题的转发站一定是转发电视信号的，因为其波长太短．

【答案】　电视；短

例12　(2007江苏卷)光的偏振现象说明光是横波，下列现象中不能反映光的偏振特性的是(　　)

A. 一束自然光相继通过两个偏振片，以光束为轴旋转其中一个偏振片，透射光的强度发生变化

B. 一束自然光入射到两种介质的分界面上，当反射光线与折射光线之间的夹角恰好是90°时，反射光是偏振光

C. 日落时分，拍摄水面下的景物，在照相机镜头前装上偏振虑光片可以使景象更清晰

D. 通过手指间的缝隙观察日光灯，可以看到彩色条纹

【巧解】　识记法

A项是光具有偏振特性的依据；

B项需要读者弄清楚的是：若光线以布儒斯特角(此时折射光线与反射光线垂直)入射到两种介质分界面时，不管入射光线的偏振态如何，反射光线总是线偏振的；

C项是光的偏振特性的实际应用；

D项是光的单缝衍射．

【答案】　D

例13　(全国高考题)市场上有种灯具俗称“冷光灯”，用它照射物品时能使被照物品处产生的热效应大大降低，从而广泛地应用于博物馆、商店等处．这种灯降低热效应的原因之一是在灯泡后面放置的反光镜玻璃表面上镀上一层薄膜(例如氟化镁)，这种膜消除不镀膜时玻璃表面反射回来的热效应最显著的红外线．以λ表示此红外线在镀膜中的波长，则所镀薄膜的厚度最小应为(　　)

A. λ　　B. 2λ　　C. $\frac{1}{2}\lambda$　　D. $\frac{1}{4}\lambda$

【巧解】　推理法

该灯后面放置的反光镜玻璃表面镀有薄膜和照相机镜头上的增透膜是一样的作用，增强透射光，减少反射光从而使被照物体温度不会显著升高，其根本的原因是从膜的前表面和后表面反射回来的路程差等于半波长的奇数倍时，反射光会干涉相消．故薄膜最小厚度为红外线在此薄膜中波长的$\frac{1}{4}$．

【答案】　D

例14　(全国高考题)如图4为X射线管的结构示意图，E为灯丝电源，要使射线管发出X射线，须在K、A两电极间加上几万伏的直流高压，则(　　)

A. 高压电源正极应接在P点，X射线从K极发出

B. 高压电源正极应接在P点，X射线从A极发出

C. 高压电源正极应接在Q点，X射线从K极发出

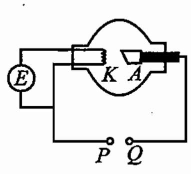


图4

D. 高压电源正极应接在Q点，X射线从A极发出

【巧解】　推理法

有的同学认为X射线就是高速电子流．电源正极接Q点，负极接P点后，在A、K间就建立了自A指向K的高压电场，就可使X极产生的电子得到加速，形成高速电子流，形成X射线．这是对X射线的本质认识不清造成的．实际情况应是，高速电子流射到任何固体上，都可产生X射线，故本题中高速电子流射到A级后，即可使A极原子的内层电子受到激发，形成X射线，因此，X射线是从A极发出的．

【答案】　D

例15　(全国高考题)某同学以线状白炽灯为光源，利用游标卡尺两脚间形成的狭缝观察光的衍射现象后，总结出以下几点，你认为正确的是(　　)

A. 若狭缝与灯丝平行，则衍射条纹与狭缝平行

B. 若狭缝与灯丝垂直，衍射条纹与狭缝垂直

C. 衍射条纹的疏密程度与狭缝的宽度有关

D. 衍射条纹的间距与光的波长有关

【巧解】　反证法

如果认真做过实验，则不难得出A、C正确．而D可用反证法推断，若间距与光的波长无关，则不同色光间距相同，我们看到的衍射条纹将不是彩色条纹，我们看到的是彩色条纹，故间距与波长有关．至于B，由于课本强调狭缝就应与灯丝平行，有些同学就没有垂直观察过，实际上这种情形是不能看到衍射条纹的，物理学是以实验为基础的学科，学生实验要认真做好，仔细观察，在不损坏仪器的前提下，可以不按课本操作试试看，也许会有收获．

【答案】　A、C、D

例16　(2003·上海卷)劈尖干涉是一种薄膜干涉，其装置如图5所示．将一块平板玻璃放置在另一平板玻璃之上，在一端夹入两张纸片，从而在两玻璃表面之间形成一个劈形空气薄膜．当光垂直入射后，从上往下看到的干涉条纹如图所示．干涉条纹有如下特点：(1)任意一条明纹或暗纹所在位置下面的薄膜厚度相等；(2)任意相邻明条纹或暗条纹所对应的薄膜厚度差恒定．现若在图2装置中抽去一张纸片，则当光垂直入射到新的劈形空气薄膜后，从上往下观察到的干涉条纹(　　)

A. 变疏　　B. 变密　　C. 不变　　D. 消失

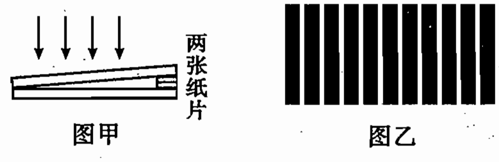


图5

【巧解】　转化法

该题主要考查获取和处理信息的能力．将薄膜厚度的变化转化为条纹间距的变化，当抽去一张纸片后，劈形空气薄膜的厚度减小，同等厚度距离增大，两玻璃表面之间夹角减小．由数学知识可知，要保持两相邻条纹所对应的薄膜厚度差恒定，则两相

邻条纹间距一定增大,即观察到的干涉条纹变疏,该题来源于课本中薄膜干涉,但实质是一道信息材料阅读题,关键是可直接获取题中提供的信息:任意相邻明条纹(或暗条纹)所在位置下面对应的薄膜厚度差恒定来推断结果.

【答案】 A

例17 如图6所示是双缝干涉实验装置,屏上 O 点到双缝 S_1、S_2 的距离相等. 当用波长为 $0.75\mu m$ 的单色光照射时,P 是位于 O 上方的第二条亮纹位置,若换用波长为 $0.6\mu m$ 的单色光做实验,P 处是亮纹还是暗纹? 在 OP 之间共有几条暗纹?

【巧解】 特值法

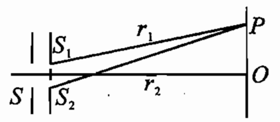


图6

当用波长为 $\lambda_1=0.75\mu m$ 单色光时,P 为 O 上方第二条亮纹,所以 P 到双缝 S_1、S_2 的距离差 $\Delta r=2\lambda_1=2\times0.75\mu m=1.5\mu m$.

改用 $\lambda_2=0.6\mu m$ 的单色光时,路程差 $\Delta r=\frac{5}{2}\lambda_2$,所以 P 处为暗纹,从 O 到 P 路程差由零逐渐增大. 必有路差为 $\frac{1}{2}\lambda_2$ 和 $\frac{3}{2}\lambda_2$ 的两点,即 OP 之间还有两条暗纹.

【答案】 暗纹,两条

例18 (2004·天津理综)激光散斑测速是一种崭新的测速技术,它应用了光的干涉原理. 用二次曝光照相所获得的"散斑对"相当于双缝干涉实验中的双缝,待测物体的速度 v 与二次曝光时间间隔 Δt 的乘积等于双缝间距. 实验中可测得二次曝光时间间隔 Δt、双缝到屏之距离 L 以及相邻两条亮纹间距 Δx. 若所用激光波长为 λ,则该实验确定物体运动速度的表达式是( )

更多资料干货 关注微信公众号 学习第一线 赠送5000G学习大礼包

A. $v=\frac{\lambda\Delta x}{L\Delta t}$　B. $v=\frac{L\lambda}{\Delta x\Delta t}$　C. $v=\frac{L\Delta x}{\lambda\Delta t}$　D. $v=\frac{L\Delta t}{\lambda\Delta x}$

【巧解】 公式法

由题意知双缝间距为:$d=v\Delta t$

双缝干涉中相邻两亮纹(或暗纹)间距 Δx 与双缝到屏的距离 l 及双缝间距 d,波长 λ 的关系为 $\Delta x=\frac{L}{d}\lambda$.

由以上两式得:$v=\frac{L\lambda}{\Delta x\Delta t}$. 本题关键是理解题意,明确双缝间距 d 的计算("速度 v 与时间间隔 Δt 的乘积")即可求解. 另外要牢记干涉现象中相邻两亮纹(或暗纹)间距离相等,条纹间距的计算式.

【答案】 B

例19 (上海高考题)图7中A、B两幅图是由单色光分别射到圆孔而形成的图象,其中图A是光的________(填干涉或衍射)图象. 由此可以判断出图A所对应的圆孔的孔径________(填大于或小于)图B所对应的圆孔的孔径.



图7

【巧解】 推理法

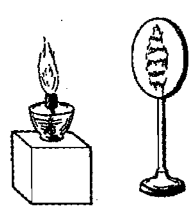
同一列单色光射到圆孔,图 A 出现了明暗相间的条纹,这说明光偏离了直线传播,发生明显衍射现象;而图 B 没有明暗相间的条纹,表示不发生明显衍射现象. 根据衍射条件可知图 A 所对应的圆孔的孔径小于图 B 所对应的圆孔的孔径. 该题主要考查明显衍射的条件及其运用. 光发生衍射现象时,一是光传播到几何阴影区中,即光照亮的范围变大;二是在这个范围内光的亮度不均匀,出现明暗相间的条纹.

【答案】 衍射;小于

第十九章 光的波动性综合测试

一、选择题(4 分 ×17 =68 分)

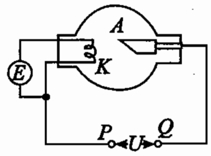
1. 以下说法中正确的是(　　)
   A. 牛顿用微粒说可成功地解释光的直射和反射
   B. 惠更斯的波动说可以成功地解释反射、折射、叠加等现象
   C. 微粒说的解释光的叠加、干涉现象时遇到了困难
   D. 惠更斯的波动说在解释光的直线传播产生影等现象遇到了困难
2. 下列陈述中哪些是正确的(　　)
   A. 在相同条件下,用紫光照射双缝产生的干涉条纹间距比红光大
   B. 衍射现象表明"光沿直线传播"只是一种近似规律
   C. 声波和光波都有偏振现象
   D. 声波在水中的传播速度大于空气中的传播速度,而光波在水中的传播速度小于空气中的传播速度
3. 北京广播电台发射的"中波"段某套节目的讯号、家用微波炉中的微波、VCD 机中的激光(可见光)、人体透视用的 X 光,都是电磁波,它们的频率分别为 v_1、v_2、v_3、v_4(　　)
   A. $v_1 > v_2 > v_3 > v_4$　　B. $v_1 < v_2 < v_3 > v_4$
   C. $v_1 < v_2 < v_3 < v_4$　　D. $v_1 > v_2 < v_3 < v_4$
4. 关于声波和电磁波的共性和异性,在下列说法中正确的是(　　)
   A. 它们都能产生反射、折射、干涉和衍射等现象
更多资料无偿 关注微信公众号 学习第一线 赠送5000G学习大礼包
   B. 它们都只能在弹性介质中传播
   C. 它们都有偏振现象
   D. 当它们由空气进入另一种介质时,它们的波速和波长都变小
5. 如右图所示为观察薄膜干涉现象的示意图,酒精灯放在金属丝圈上的肥皂液薄膜前,在酒精火焰里洒上一些氯化钠,使火焰发出黄光,在薄膜上看到火焰的反射像,像上出现明暗相间的条纹,若在薄膜后方放一光屏,则光屏上出现的情况是(　　)



   A. 一片明亮
   B. 一片黑暗
   C. 有明暗相间条纹,且明条纹与反射像上明条纹相对应
   D. 有明暗相间条纹,且明条纹与反射像上暗条纹相对应
6. 某高层建筑物外墙大量使用的幕墙玻璃,在白天时外面的人看不清室内的物体,而室内的人却能较清楚地看见外面的景物,其原因是(　　)
   A. 在玻璃的外表面涂有增透膜
   B. 在玻璃外表面涂有高反膜(即对光的反射率远大于透射率的物质)
   C. 在玻璃的外表面涂有能大量吸收光的物质
   D. 在玻璃的外表面涂有不透光的彩色薄膜
7. 光线通过胶体时能看见明亮的光路,这一现象称为"丁达尔现象",而浊液和溶液无此现象.
   (1)胶体胶粒直径 d 与入射光的波长 λ 相比(　　)
   A. $d \gg \lambda$　　B. $d \ll \lambda$
   C. d 与 λ 数值无关　　D. d 与 λ 数值相近
   (2)光在通过胶体时发生了(　　)
   A. 散射　　B. 折射
   C. 干涉　　D. 全反射
   (3)下列溶液不能发生丁达尔现象的是(　　)
   A. $C_{17}H_{35}COONa$ 溶液　　B. 珂罗酊
   C. 碘的 CCl_4　　D. 蛋白质溶液
8. 对于无线电波、红外线、伦琴射线和 γ 射线,下列说法中正确的是(　　)
   A. 人的眼睛看不到这四种波,是因为它们不能引起人的视觉反应
   B. 这四种波中,最容易观察到衍射现象的是红外线
   C. 改变 LC 的参数从而改变 LC 振荡电路产生的电磁波的频率,可以分别获得这四种电磁波
   D. 这四种电磁波在真空中的传播速度都相同
9. 下列说法中正确的是(　　)
   A. 夏天太阳光把地面晒得发热是因为可见光的热效应在各种电磁波中是最强的
   B. 医院里透视用 X 射线,是因为它是各种电磁波中穿透能力最强的
   C. 阳光晒黑皮肤主要是红外线的生理作用
   D. 红外线易穿透云雾,所以应用红外线遥感技术
10. 通过游标卡尺两测脚间的狭缝观看与缝平行的红色灯泡的灯丝,可以看到明暗相间的衍射条纹,如果将狭缝调整得更窄,衍射条纹的中央亮纹宽度和亮度的变化情况是(　　)
    A. 变窄、变亮　　B. 变宽、变亮
    C. 变窄、变暗　　D. 变宽、变暗
11. 在一个发光的小电珠和光屏之间放一个大小可以调节的圆形孔屏,在圆孔从较大调至完全闭合的过程中,在屏上看到的现象是(　　)
    A. 先是圆形亮区,再是圆形亮环,最后完全黑暗
    B. 先是圆形亮区,最后完全黑暗
    C. 先是圆形亮环,最后完全黑暗
    D. 先是圆形亮环,然后圆形亮区,最后完全黑暗
12. 蚌壳内表面上有薄层珍珠质,在白光照射下常会呈现美丽的色彩,这是(　　)
    A. 光的色散现象
    B. 光的干涉现象
    C. 光的全反射现象

D. 蚌壳凹面对光的会聚现象

13. 右图为 X 射线管的结构示意图，E 为灯丝电源. 要使射线管发出 X 射线，需在 K、A 两电极间加上几万伏的直流高压，则(　　)



A. 高压电源正极应接在 P 点，X 射线从 K 极发出

B. 高压电源正极应接在 P 点，X 射线从 A 极发出

C. 高压电源正极应接在 Q 点，X 射线从 K 极发出

D. 高压电源正极应接在 Q 点，X 射线从 A 极发出

14. 在光的干涉实验中，如果两条狭缝间的距离增加 1 倍，光的波长减半，则相邻暗条纹间的距离是原来的(　　)

A. 4 倍　　B. 0.5 倍　　C. 0.25 倍　　D. 不变

15. 在单色光的双缝干涉实验中，屏中央(到两狭健的距离相等处)是亮条纹，称第零级亮纹；紧靠中央亮纹的暗纹称为第一级暗纹，那么(　　)

A. 第三级暗纹到两缝的距离差为波长的 1.5 倍

B. 第三级暗纹到两缝的距离差为波长的 2.5 倍

C. 第三级亮纹到两缝的距离差为波长的 2 倍

D. 第三级亮纹到两缝的距离差为波长的 3.5 倍

16. 用遥控器调换电视机频道的过程，实际上就是传感器把光信号转化为电信号的过程，下列属于这类传感器的是(　　)

A. 红外报警装置

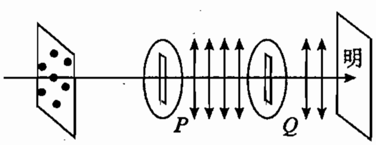
B. 走廊照明灯的声控开关

C. 自动洗衣机中的压力传感装置

D. 电饭煲中控制加热和保温的温控器

17. 如下图所示，让太阳光或白炽光灯通过偏振片 P 和 Q，以光的传播方向为轴旋转偏振片 P 或 Q，可以看到透射光的强度会发生变化，这是光的偏振现象，这个实验表明(　　)

更多资料干货 关注微信公众号 学习第一线 赠送5000G学习大礼包



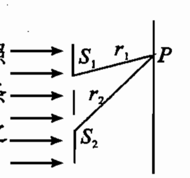
A. 光是电磁波　　B. 光是一种横波

C. 光是一种纵波　　D. 光是概率波

二、填空题(每小题 4 分，共 16 分)

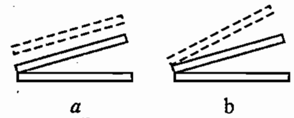
18. 红外线可以穿透云雾，是因为它的波长________，所以它的________现象比较显著；γ 射线可以穿透金属是因为它频率________，所以它________能力比较强，原子的内层电子受激发后辐射的电磁波是________.

19. 如右图所示，用频率为 v 的单色光垂直照射双缝，在光屏上 P 点出现第 3 条暗条纹，已知光速为 c，则 P 点到双缝的距离之差 r_2-r_1 应为________.



20. 二氧化碳能强烈吸收红外长波辐射，这种长波辐射的波长范围约是 $1.4\times10^{-5}\sim1.6\times10^{-5}$m，相应的频率范围是________."温室效应"使大气全年的平均温度升高，空气温度升高，从微观上看就是空气中分子的________.(已知普朗克恒量 $h=6.6\times10^{-34}$ J·s，真空中的光速 $c=3.0\times10^{8}$ m·s^{-1}，结果取两位数字.)

21. 用干涉法检查表面质量，产生的干涉条纹是一组平行的直线，若劈尖的上表面向下平移，如图 a 所示，干涉条纹将________(填变宽、变窄、不变). 若劈尖的角度增大，如图 b 所示，干涉条纹将会________，若折射率为 n 的透明介质充满劈尖，干涉条纹将会________.



三、计算题(8 分×2 = 16 分)

22. (8 分)广场上有一个半径 45m 的圆周，A、B 是一条直径的两端，在圆心 O 点和 A 点装上相同的电磁波源，它们都能发出频率为 3×10^{7} Hz 的球面电磁波，一人在 A 处恰好接收不到电磁波信号，在他从 A 处开始沿圆周走过 $\frac{1}{2}$ 圆弧到 B 的过程中，他还有几次接收不到信号？(不包括 A、B 两位置)

23. (8 分)太阳能汽车是利用太阳能电池将太阳能直接转化为电能，再利用电动机驱动汽车的. 该车形状较怪，有一个几乎布满全身的太阳能电池板，还有流线型外形，仅有的一位驾驶员拥有的空间极为有限. 某辆实验车，太阳能电池板总面积为 $S=8\text{m}^2$，电池组提供的电源为 $U=120$V，提供给电动机的工作电流为 $I=10$A，电动机内阻为 $R=2\Omega$，太阳光照射到电池板上单位面积上的辐射功率为 $P_0=1\text{kW/m}^2$. 已知电动机的效率为 $\eta_1=90\%$，在水平路面行驶时车受到的阻力为 $F=150$N，求：这辆车在该路面行驶的最大速度是多大？该车所用的太阳能电池板的效率 η_2 是多大？

第二十章

动量守恒定律

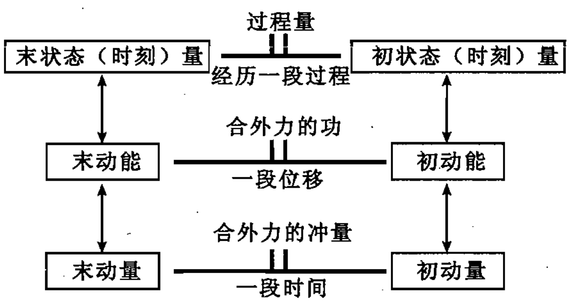
难点巧学

一、"寻"规、"导"矩学动量

1."寻"规:巧用"联想、对比"列图加深对动量定理的理解.

现行很多高中教材包括本书的编排次序是先学"动能定理",再学"动量定理".我们可以建立两者关系图谱(图1),增强对"动量定理"的认识.图中两竖表示"等于",中间粗的一横表示"减号",即分别反映两个式子:

$W_{合}=F_{合}S=E_{K末}-E_{K初}$和$I_{合}=F_{合}t=P_{末}-P_{初}$.



更多资料干货 关注微信公众号 学习第一站 赠送5000G学习大礼包

图1

两者在使用时程序大体相似,但要注意,前式中,"功"有正负,是标量式;后式中,冲量和初、末动量都会有正负区分,是矢量式,解题时要规定正方向.对于另一难点——动量守恒定律,则可以和机械能守恒定律的使用形成对比.

例1 如图2,质量为0.4kg的A球,向右以20m/s的速度在水平面上与竖直墙壁碰撞,碰撞时平均冲力为100N,同时A还受到20N的摩擦阻力,碰撞时间为0.1s,求碰撞后A的速度.

【巧解】 A球的受力分析如图,设向左为正方向,有动量定理得:

$(F_{冲}+F_{阻})t=mv_2-(-mv_1)$,所以$v_2=\frac{F_{冲}+F_{阻}}{m}t-v_1=10\text{m/s}$即碰后$A$球的速度大小为10m/s,方向与碰前相反.

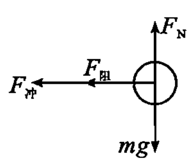


图2

2."导"矩(即总结解题步骤):巧学动量定理的解题步骤,做到不丢重力.

丢重力是使用动量定理时常见的错误.如果我们能够找出使用的规则,并按照一定的规矩和步骤解题,就可以减少错误.利用动量定理解题的一般步骤:

a.选择恰当的物体或物体系作为研究对象:

b.对研究对象进行受力分析(口诀:先重力、再弹力、再摩擦力、最后勿忘"电、磁、浮等其他力"),确定研究过程中各力的冲量;

c.选这正方向,确定初、末状态的动量;

d.根据动量定理列出方程,并统一到国际单位制中运算求出结果.

例2 (全国高考题)一粒钢珠从静止状态开始自由下落,然后陷入泥潭中.若把在空中下落的过程称为过程Ⅰ,进入泥潭直到停住的过程称为过程Ⅱ,则(　　)

A.过程Ⅰ中钢珠动量的改变量等于重力的冲量;

B.过程Ⅱ中阻力的冲量的大小等于过程Ⅰ中重力冲量的大小;

C.过程Ⅱ中钢珠克服阻力所做的功等于过程Ⅰ与过程Ⅱ中钢珠所减少的重力势能之和;

D.过程Ⅱ中损失的机械能等于过程Ⅰ中钢珠所增加的动能.

【巧解】 在过程Ⅰ中钢珠只受重力,重力的冲量等于钢珠动量改变量,选项A正确.同时,在过程Ⅰ中重力做功,钢珠重力势能减小,动能增加.在过程Ⅱ中钢珠除受阻力外,仍受重力,判断时最容易丢掉重力的冲量及重力的功.选项B、D就是犯了"丢重力"的错误.应该是过程Ⅱ中阻力冲量的大小等于过程Ⅰ和过程Ⅱ整个过程中重力的冲量;过程Ⅱ中损失的动量等于过程Ⅰ中重力的冲量;过程Ⅱ中损失的机械能等于过程Ⅰ中钢珠增加的动能及过程Ⅱ中机械能(含重力势能)减少量之和.所以A、C正确.

二、巧用动量定理解释常见的两类物理现象

由$F_{合}\Delta t=\Delta P$,则$F_{合}=\frac{\Delta P}{\Delta t}$

巧记推论:物体所受合外力等于它自身"动量变化率".

例3 玻璃杯从同一高度自由下落,掉落在硬质水泥板上易碎,掉落在松软地毯上不易碎,这是由于玻璃杯掉在松软地毯上(　　)

A.所受合外力的冲量较小

B.动量的变化量较小

C.动量的变化率较小

D.地毯对杯子的作用力小于杯子对地毯的作用力

【巧解】 杯子从同一高度下落,与地面碰撞的瞬时速度、动量都是一定的.与地面相碰到刚静止时,不管玻璃杯是否破碎,动量的改变量都相等,由动量定理得:合外力的冲量也相等.可见A、B是错误的.由$F\Delta t=\Delta P$得,玻璃杯受到的合外力等于动量的变化率$F=\frac{\Delta P}{\Delta t}$.玻璃杯掉在松软的地毯上,动量减小经历

的时间Δt较长，$\frac{\Delta P}{\Delta t}$较小，玻璃杯受到的合力较小，玻璃杯就不易碎，故C选项正确．而杯子对地毯的作用力和地毯对杯子的作用力是一对相互作用力，应等值反向，所以D也错误．

例4 小笔帽放在一小纸条上，快拉纸条，小笔帽不动，慢拉纸条，小笔帽动起来，这是为什么？

【巧解】 当缓慢拉动纸条时，小笔帽与纸条之间是静摩擦力，由于作用时间长，小笔帽获得的冲量较大，可以改变它的静止状态，从而带动小笔帽一起运动；在快拉时，尽管这是小笔帽与纸条之间因分离产生滑动摩擦力，但由于作用时间很短，小笔帽获得的冲量并不大，还未来得及改变其静止状态，纸条已抽出来了．

【小结】 用动量定理解释现象一般分为两类：一类是物体的动量变化一定，此时力的作用时间越短，力就越大；时间越长，力就越小（如例3）；另一类是作用力一定，此时力的作用时间越长，动量变化越大；力的作用时间越短，动量变化越小（如例4，力的区别不大，但时间差别较大是本题的主要因素）．

三、巧用动量定理解三类含"变"的问题

1．巧解变力的冲量：

变力的冲量在中学物理阶段不能用$I=Ft$求解，但是用动量定理可以用ΔP来间接的表示变力的冲量．

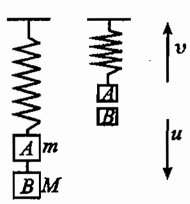
例5 （上海高考题）物体A和B用轻绳相连挂在轻质弹簧下静止不动，如图3（甲）所示，A的质量为m，B的质量为M．当连接A、B的绳突然断开后，物体A上升经某一位置时的速度大小为v，这时物体B下落速度大小为u，如图3（乙）所示．在这段时间里，弹簧的弹力对物体A的冲量为（　　）

更多资料干货 关注微信公众号 学习第一线 赠送5000G学习大礼包

A．mv　　B．$mv-Mu$

C．$mv+Mu$　　D．$mv+mu$

【巧解】 欲求在指定过程中弹簧弹力的冲量，思路有两条：一是从冲量概念入手计算，$I=Ft$，二是由动量定理通过动量的变化计算，即$I=\Delta P$．由于弹簧的弹力是变力，时间又是未知量，故只能用动量定理求解．



（甲）　（乙）

图3

剪断细绳后，A上升，B自由下落，但A在上升过程中弹簧是一变力．若设这段时间为t，以向上为正方向，对A用动量定理有：对A：$I_T-mgt=mv$　对B自由落体：$u=gt$　联立可得$I_T=m(v+u)$

2．巧解曲线运动的动量变化：

例6 （北京、安徽春季高考）做平抛运动的物体，每秒钟的速度变化量总是（　　）

A．大小相等，方向相同　　B．大小不等，方向不同

C．大小相等，方向不同　　D．大小不等，方向相同

【巧解】 曲线运动的特点是运动方向不断变化．根据平抛运动的定义，物体在运动过程中只受重力作用，又由动量定理$F_{合}t=mv_t-mv_0$得：

$mgt=\Delta P=m\Delta v$，即$\Delta v=\frac{mgt}{m}=$恒量，注意到各式为矢量关系，所以选择A．

3．巧建"管道"模型，锁定目标，巧解流体类变质量问题：

例7 设水的密度为ρ，水枪口的截面积为S，水从枪口喷出的速度为v，若水平直射到煤层后速度为零，则水对煤层的平均作用力的大小为多少？

【巧解】 此类问题的特点是，随着时间变化，作用的主体会不断变化，对象难以锁定，对应的质量难以表达计算，假设水从水枪口射出之后还沿着一个"管道"（我们自己假象出来的）冲到煤层上，取Δt时间内射到煤层的水的质量Δm为研究对象，这些水分布在截面积为S，长为$l=v\Delta t$的"管道"内，则$\Delta m=\rho V=\rho Sl=\rho Sv\Delta t$，根据动量定理得：$F\Delta t=\Delta mv=\rho Sv^2\Delta t$，即$F=\rho Sv^2$

【注】 此类题还很多，本题中的水改为"气体"、"称米机"中的米、"陨石"等，例如"活题巧解"中例11．

四、动量守恒定律的"三适用""三表达"——动量守恒的判断

"三适用"——以下三种情况可用动量守恒定律解题

1．若系统不受外力或受外力之和为零，则系统的总动量守恒．

例8 如图4，一车厢长为L，质量为M，静止于光滑的水平面上，厢内有一质量为m的物体以初速v_0向右运动，与车厢来回碰撞n次后静止于车厢中，这时车厢的速度为：（　　）

A．v_0，水平向右　　B．零

C．$\frac{mv_0}{M+m}$　　D．$\frac{mv_0}{M-m}$

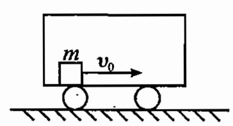


图4

【巧解】 当物体在车厢内运动及与车厢碰撞过程中，物体与车厢组成的系统所受外力有重力和支持力，合力为零，故系统总动量守恒．系统初动量为mv_0，当物体静止在车厢中时，二者具有相同的速度，设为v则：$mv_0=(M+m)v$，解得$v=\frac{mv_0}{M+m}$，选项C对．

2．若系统所受外力之和不为零，则系统的总动量不守恒，但如果某一方向上的外力之和为零，则该方向上的动量守恒．

例9 如图5，将质量为m的铅球以大小为v_0，与水平方向倾角为θ的初速度抛入一个装着沙子的总质量为M的静止的砂车中，砂车与地面的摩擦力不计，球与砂车的共同速度为多少？

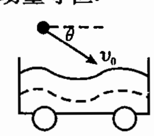


图5

【巧解】 把铅球和砂车看成一个系统，系统在整个过程中不受水平方向的外力，则水平方向上的动量守恒，而在竖直方向上，当铅球落在砂车中时，地面与系统的支持力不等于系统的总重力，故系统在竖直方向上动量不守恒（另外，也可以从结果上来看：初始状态系统在竖直方向上有速度$v_0\sin\theta$，而最终整个系统只有水平方向的速度，由此也能得到系统竖直方向上动量不守恒）．

设系统后来共同速度为v，则$mv_0\cos\theta=(m+M)v$，$v=\frac{mv_0\cos\theta}{m+M}$

3．若系统所受外力之和不为零，但是外力远小于内力，可以忽略不计，则物体相互作用过程动量近似守恒．如碰撞、爆炸等．

例10　质量为 M 的木块静止在水平面上,木块与地面间的动摩擦系数为 μ,一颗质量为 m 的子弹水平射入木块后,木块沿水平面滑行 s 后停止,试求子弹射入木块前的速度 v_0.

【巧解】　子弹射入木块过程中,木块受地面的摩擦力为 F,此力即为子弹与木块组成的系统所受的外力,不为零.但子弹与木块打击时,相互作用力 $F_{内} \gg F_{外}$,摩擦力可忽略不计,系统的动量近似守恒.

设子弹射入木块后,子弹与木块的共同速度为 v,由动量守恒定律得:$mv_0=(m+M)v$……①

此后,子弹和木块一起做匀减速直线运动,由动能定理得 $-\mu(m+M)gs=0-\frac{1}{2}(m+M)v^2$……②

由①②得:$v_0=\frac{M+m}{m}\sqrt{2\mu gs}$

"三表达"—— 动量守恒定律有三种常用的数学表达式

1. 系统的初动量等于末动量,即 $P=P'$. 例题中很多见,读者自己查看.

2. 若 A、B 两物体组成的系统在相互作用过程中动量定恒,则 $\Delta P_A=-\Delta P_B$(负号表示 ΔP_A 与 ΔP_B 方向相反).

例11　质量相等的三个小球 a、b、c 在光滑的水平面上以相同的速率运动,它们分别与原来静止的三个球 A、B、C 相碰(a 与 A,b 与 B,c 与 C). 碰后,a 球继续沿原来的方向运动,b 球静止不动,c 球被弹回而反向运动,这时 A、B、C 三球中动量最大的是(　　)

A. A 球　　B. B 球

C. C 球　　D. 由于 A、B、C 三球质量未知,无法判定

【巧解】　三球在碰撞过程中动量都守恒,且 a、b、c 三球在

更多资料干货 关注微信公众号 学习第一线 赠送5000G学习大礼包

碰撞过程中,动量变化的大小关系为:$\Delta P_c>\Delta P_b>\Delta P_a$. 由动量守恒定律知:

$\Delta P_a=-\Delta P_A$,$\Delta P_b=-\Delta P_B$,$\Delta P_c=-\Delta P_C$,所以 A、B、C 三球在碰撞过程中动量变化的大小关系为 $\Delta P_C>\Delta P_B>\Delta P_A$. 由于 A、B、C 三球初动量都为零,所以碰后它们的动量大小关系为 $P_C>P_B>P_A$,故选项 C 正确.

3. 若 A、B 两物体相互作用过程中动量守恒,则 $m_Ax_A=m_Bx_B$. 但此表达式仅适用于系统总动量恒为零的情况(x_A、x_B 分别为 A、B 在作用过程中的位移大小),或系统某方向上总动量恒为零的情况(此时的 x_A、x_B 分别为 A、B 在作用过程中,在该方向上的位移大小). 比如人船模型.

五、构建基本物理模型——学好动量守恒的法宝

1. 人船模型:

特点:系统初始动量为零,你动我反动,你快我快,你慢我慢,你停我也停. 从能量的角度看,当系统运动时,人体内化学能转化为系统动能.

例12　如图6所示,在平静的水面上浮着一只质量为 M、长度为 L 的船(船处于静止状态),船的右端(B 端)站着一个质量为 m 的人,当人从船的右端走到船的左端(A 端)的过程中,求船的位移 S_M 的大小?(水的阻力不计)

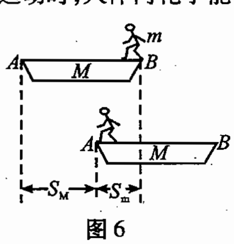


图6

【巧解】　研究人和船组成的系统,以水平向左的方向为正方向. 设 v_m、v_M 分别为人、船在某同一时刻的速度,则由动量守恒定律,有 $mv_m+M(-|v_M|)=0$,即 $mv_m=M|v_M|$

经很短时间 Δt(在这很短的时间内,可认为人、船分别以大小为 v_m、v_M 的速度分别向左、向右做匀速运动),有 $mv_m\Delta t=M|v_M|\Delta t$,所以 $m\sum v_m\Delta t=M\sum|v_M|\Delta t$,因为 $\sum v_m\Delta t=S_m$,$\sum|v_M|\Delta t=|S_M|$ 所以 $mS_m=M|S_M|$,因为 $S_m+|S_M|=L$,所以船的位移大小为 $|S_M|=\frac{m}{m+M}L$,人对地面的位移大小为 $S_m=\frac{M}{m+M}L$,有些书上利用人船系统平均动量守恒,也得到了结论,但是没有注意动量守恒定律的瞬时性,那只是一种等效的做法.

拓变:"类人船模型",见活题巧解例13、例14.

2. "子弹打木块"模型:

特点:一个物体在另一个物体表面或内部运动,在运动方向不受外力,动量守恒. 从能量的观点看,系统的动能损失转化为两者的内能. 特别注意 $fs_{相对路程}=\Delta E_K$.

例13　质量为 M 的木块静止在光滑水平面上,一质量为 m 速度为 v_0 的子弹水平射入木块中,求:(1)如果子弹静止在木块中,子弹的最终速度;(2)如果子弹未穿出,所受阻力的大小恒为 F,求子弹打进木块的深度为 L;(3)如果子弹能够以速度 v_1 穿出,求子弹穿出后,木块的速度.

【巧解】　选系统为研究对象,水平方向不受外力,动量守恒.

(1)题中的"静止",只是两者相对静止,设他们的共同速度为 v,$mv_0=(m+M)v$,则:$v=\frac{mv_0}{M+m}$　①

(2)从能量的观点看系统克服内部摩擦力做功(摩擦力与物体相对路程的乘积)等于系统动能的损失. 即 $fs_{相对路程}=\Delta E_K$. 该式一定要记住!例如活题巧解(例16~例18)

由系统能量守恒得:$FL=\frac{1}{2}mv_0^2-\frac{1}{2}(m+M)v^2$　②

由①②解得:$L=\frac{Mmv_0^2}{2F(M+m)}$

(3)系统动量守恒:$mv_0=mv_1+Mv_2$　则:$v_2=\frac{mv_0-mv_1}{M}$

注意:方程②是解题的捷径,推导如下:如图7,分别选子弹和木块为研究对象,由动能定理得

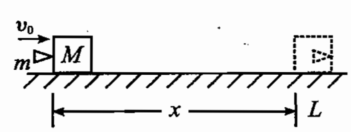


图7

对子弹:$-F(L+x)=\frac{1}{2}mv^2-\frac{1}{2}mv_0^2$　③

对木块:$Fx=\frac{1}{2}Mv^2-0$　④

由③+④解得:$-FL=\frac{1}{2}(m+M)v^2-\frac{1}{2}mv_0^2$,除去负号就可得方程②.

拓变:"类子弹木块"模型——木块与平板车,见活题巧解例

15、例 16、例 17.

3. “木块弹簧”模型

特点：两物体之间通过弹簧作用，不受其他外力，满足动量守恒，从能量观点看，系统中有弹性势能参与转化，并且当两物体速度相等时，弹簧压缩量最大，弹簧弹性势能达到最大.

例 14 如图 8 所示，质量 $M=2m$ 的光滑木板静止放在光滑水平面上，木板左端固定一根轻质弹簧，一质量为 m 的小木块（可视为质点），从木块的右端以未知的速度 v_0 开始沿木板向左滑行. 若在小木块压缩弹簧的过程中，弹簧具有最大的弹性势能为 Ep，求未知速度 v_0 的大小.

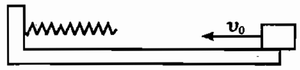


图 8

【巧解】 木板、木块、弹簧三者所组成的系统满足动量守恒. 当木块与木板达到共同速度，两者相距最近，弹簧压缩量最大，弹簧具有最大弹性势能. $mv_0=(m+M)v$ ①

又因为系统能量守恒得：$\frac{1}{2}mv_0^2-\frac{1}{2}(m+M)v^2=E_p$ ②

由①②得：$v_0=\sqrt{\frac{2E_p(M+m)}{Mm}}$

拓变：系统中不仅有弹性势能，而且还有内能参与转化. 活题巧解例 20.

六、巧用动量守恒定律求解多体问题

1. 巧选对象

对多物体系统，由于参与作用的物体较多，作用的情况比较复杂，因此，要从巧选研究对象和巧选研究过程上找到解题的突破口. 既要注意系统总动量守恒，还要注意系统内某几个物体发生作用时动量也守恒.

例 15 质量相等的五个物体在光滑水平面上间隔一定距离排成一条直线，如图 9 所示，具有初速度 v_0 的物体 1 向其他 4 个静止物体运动，依次发生碰撞，每次碰撞后不再分开，最后 5 个物体粘成一整体，则这个整体的速度等于多少？

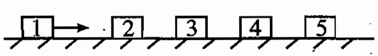


图 9

【巧解】 这是一个涉及五个物体的多物体系统. 当物体 1 和物体 2 发生碰撞的过程中，取物体 1 和物体 2 为研究对象，它们的总动量守恒. 接着，物体 1 和物体 2 组成一个物体，在与物体 3 发生碰撞，取物体 1、物体 2 和物体 3 为研究对象，它们的总动量也守恒. 依此类推，本题一共将发生四次碰撞，每次碰撞都满足动量守恒条件，分别应用动量守恒定律求出每次碰撞后的速度，从而可求出最后的结果. 但如果取有五个物体组成的系统为研究对象，它们的总动量守恒，求解过程就显得非常的简便：$mv_0=5mv$，得：$v=v_0/5$.

2. 构建模型

在多物体系统内发生相互作用的过程中，不仅要认清作用的过程和参与的物体，而且要根据作用的特点和规律构建物理模型，为顺利运用动量守恒定律铺平道路，尤其是对碰撞类问题，由于碰撞时间极短、作用力很大等特点，参与作用的往往就是发生碰撞的两个物体，而与其他物体无关.

例 16 如图 10，甲、乙两完全一样的小车，质量都为 M，乙车内用绳吊一质量为 $\frac{1}{2}M$ 的小球，当乙车静止时，甲车以 v 速度与乙车相碰，碰后连为一体，求：(1)两车刚碰后的共同速度多大？(2)小球摆到最高点时的速度为多大？

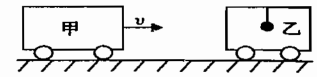


图 10

【巧解】 由于碰撞时间极短，乙车在碰撞时间内的位移可忽略不计，小球来不及摆动，球与车在水平方向无作用. 选择甲和乙为研究对象，构建碰撞模型，由动量守恒定律得：$Mv=(m+M)v_1$，解得 $v_1=\frac{v}{2}$

接着，两车整体以共同速度 v_1 向右运动，在绳子的作用下，小球使车向右减速，小球向右加速，参与作用的是三个物体. 摆到最高点的意思，就是小球无法再相对于乙车向上升，即没有竖直向上的速度（相对与乙的速度），所以此时，球与乙（包括甲）的速度相等：$2Mv_1=(2M+\frac{1}{2}M)v_2$，解得 $v_2=\frac{2v}{5}$

3. 巧用定律：动量守恒定律的表达式很多（见上面“三表达”），恰当选择表达方式可以简化问题.

4. 寻找规律：对多物体参与作用，作用过程又比较复杂的多物体问题，又是让人觉得无从下手. 解决这类问题，要善于弄清每一个子过程和在各子过程中参与作用的物体，对各子过程的作用特点及物体的运动特征进行深入地分析、归纳和总结.

七、巧用动量守恒定律求解多过程问题

与前面所述不同的是，这类问题特点是作用过程太多，但参与物体未必很多. 关键在于分析，采用程序法确定所研究的系统是由哪些物体组成的，对全过程进行分段分析，明确在哪些阶段中，哪些物体发生相互作用，牢牢把握每个子过程的物理特征，若涉及子过程的问题就要采用子过程求解法；若只考虑最终的结果，宜采用全过程求解法.

例 17 （2004 · 全国理综）如图 11，长木板 ab 的 b 端固定一挡板，木板连同挡板的质量为 $M=4.0$kg，a、b 间距离 $S=2.0$m. 木板位于光滑水平面上，在木板 a 端有一小物块，其质量 $m=1.0$kg，小物块与木板间的动摩擦因数 $\mu=0.1$. 它们都处于静止状态. 现令小物块以初速 $v_0=4.0$m/s 沿木板向前滑动，直到和挡板相撞. 碰撞后，小物块恰好回到 a 端而不脱离木板. 求碰撞过程中损失的机械能.

分析：整个运动过程可分为以下几个阶段：

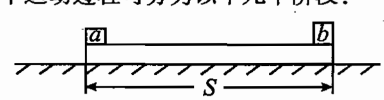


图 11

(1)物块开始运动到与 b 碰撞，摩擦力对木板做功 W_1，对物块做功为 W_2；

(2)碰撞后物块回到 a 端过程，摩擦力对木板做功 W_3，对物块做功为 W_4；则全过程中摩擦力做的总功为：$W = W_1 + W_2 + W_3 + W_4$，碰撞过程中损失的机械能可用全过程损失的机械能减摩擦力所做的功.

【巧解】 设木块与物块最后共同的速度为 v，全过程中损失的机械能为 E：则动量守恒和能量守恒定律：$mv_0 = (M+m)v$

设物块从开始运动到碰撞前瞬间木板的位移为 S_1，则这段时间摩擦力对木板做功：$W_1 = \mu mgS_1$，对物块做功为：$W_2 = -\mu mg(S+S_1)$，设从碰撞后瞬间到物块回到 a 端时木板的位移为 S_2，则这段时间摩擦力对木板做功：$W_3 = -\mu mgS_2$，对物块做功为：$W_2 = \mu mg(S_2 - S)$ 所以碰撞过程中损失的机械能：$E_1 = E - (W_1 + W_2 + W_3 + W_4)$，代入数据得：$E_1 = 2.4\text{J}$.

八、从能量角度看动量守恒问题中的基本物理模型——动量学习的提高篇(供基础较好的学生学习)

前面所述的 3 种模型，是从构成系统的具体物体的名称来划分物理模型的. 从能量角度，可把动量守恒问题中的基本物理模型分为：

1. 反冲、爆炸：满足动量守恒的同时，系统动能增加. 如“人船模型”.

2. 碰撞：满足动量守恒的同时，系统动能不会增加.

特点：作用时间很短，相互作用力很大. 系统内力远大于外力，系统动量守恒.

一般过程：一般经历接触、压缩、共速、恢复、分离等过程，碰撞过程中，当物体的速度相同时，系统的动能最小，损失的动能最大，产生的其他能最多.

A. 弹性碰撞：系统损失的动能全部转化为弹性势能，但碰撞损失的动能能够完全恢复. 既满足动量守恒定律又满足机械能守恒守律. 如“木块弹簧模型”.

B. 一般的非常性碰撞：碰撞损失的动能只是部分恢复.

C. 完全非弹性碰撞：碰撞损失的动能完全没有恢复，全部转化为内能. 最终以“共速”结束.

例 18　动量分别为 5kg · m/s 和 6kg · m/s 的小球 A、B 沿光滑平面上的同一条直线同向运动，A 追上 B 并发生碰撞后. 若已知碰撞后 A 的动量减小了 2kg · m/s，而方向不变，那么 A、B 质量之比的可能范围是什么？

【巧解】 A 能追上 B，说明碰前 $v_A > v_B$，$\therefore \frac{5}{m_A} > \frac{6}{m_B}$；碰后 A 的速度不大于 B 的速度，即 $\frac{3}{m_A} \leqslant \frac{8}{m_B}$；又因为碰撞过程系统动能不会增加，$\frac{5^2}{2m_A} + \frac{6^2}{2m_B} \geqslant \frac{3^2}{2m_A} + \frac{8^2}{2m_B}$，由以上不等式组解得：$\frac{3}{8} \leqslant \frac{m_A}{m_B} \leqslant \frac{4}{7}$.

此类碰撞问题要考虑三个因素：①碰撞中系统动量守恒；②碰撞过程中系统动能不增加；③碰前、碰后两个物体的位置关系(不穿越)和速度大小应保证其顺序合理.

九、一条连等巧串三把“金钥匙”

速度、动量、能量三个物理量最重要的区别是前两个是矢量，而能量是标量. 但三者又有着密切的联系，$E_K = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{P^2}{2m}$. 这条连等式又反应了三大观点(图 12)，俗称解题的三把“金钥匙”，领会并使用好这种关系，可以很好的解决力学综合题，特别是历年高考压轴题. 1. 力的观点. 首先是受力分析，如果是匀变速运动问题或是要求加速度，还可以用牛顿运动定律和运动学公式. 2. 动量的观点：从动量角度(动量守恒定律和动量定理)解题时有时优先考虑. 3. 能量的观点：涉及动能转化的则考虑能量观点(机械能守恒定律、能量守恒定律、动能定理、功能原理).

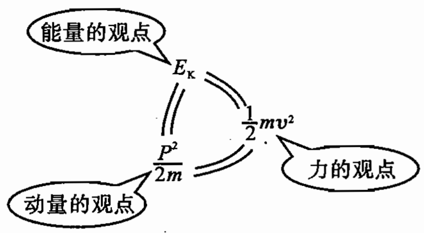


图 12

例 19　(2004 · 全国理综)柴油打桩机的重锤由气缸、活塞等若干部件组成，气缸与活塞间有柴油与空气的混合物. 在重锤与桩碰撞的过程中，通过压缩使混合物燃烧，产生高温高压气体，从而使桩向下运动，锤向上运动. 现把柴油打桩机和打桩过程简化如下：

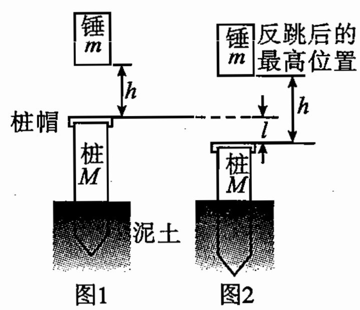


图 13

柴油打桩机重锤的质量为 m，锤在桩帽以上高度为 h 处(如图 13)从静止开始沿竖直轨道自由落下，打在质量为 M(包括桩帽)的钢筋混凝土桩子上. 同时，柴油燃烧，产生猛烈推力，锤和桩分离，这一过程的时间极短. 随后，桩在泥土中向下移动一距离 l. 已知锤反跳后到达最高点时，锤与已停下的桩幅之间的距离也为 h(如图 2). 已知 $m = 1.0\times10^3\text{kg}$，$M = 2.0\times10^3\text{kg}$，$h = 2.0\text{m}$，$l = 0.20\text{m}$，重力加速度 $g = 10\text{m/s}^2$，混合物的质量不计. 设桩向下移动的过程中泥土对桩的作用力 F 是恒力，求此力的大小.

【巧解】 锤自由下落，碰桩前速度 v_1 向下，$v_1 = \sqrt{2gh}$　①

碰后，已知锤上升高度为 $(h-l)$，故刚碰后向上的速度为 $v_2 = \sqrt{2g(h-l)}$　②

设碰后桩的速度为 v，方向向下，由动量守恒，

$mv_1 = Mv - mv_2$　③

桩下降的过程中，根据动能关系，

$\frac{1}{2}Mv^2 + Mgl = Fl$　④

由①、②、③、④式得 $F = Mg + \frac{mg}{l}\left(\frac{m}{M}\right)\left[2h - l + 2\sqrt{h(h-l)}\right]$　⑤

代入数值，得 $F=2.1\times10^5$N ⑥

注意：①②式由力得观点得出，③式由动量得观点得出，④式由能量的观点得出.

◀活题巧解▶

例1 （上海高考题）某消防队员从一楼阳台上跳下，下落后双脚触地，接着他用双腿弯曲的方法缓冲，使自己身体重心又下落了0.5m，在触地过程中，地面对他双脚的平均作用力估计为(　　)

A. 自身重力的2倍　　B. 自身重力的5倍

C. 自身重力的8倍　　D. 自身重力的10倍

【巧解】 模型法

人体落下的运动简化为自由落体模型，而双腿弯曲人体向下缓冲的过程简化为匀减速直线运动模型. 一楼阳台离地大约 $h_1=3$m，3m末的速度为：$v=\sqrt{2gh_1}$ 双腿与地面作用时间为：$t=\frac{h}{\frac{v}{2}}=\frac{2h}{v}$，这段时间内，由动量定理，得 $(N-mg)t=mv$（取方向向上为正），代入数据得：$N=5$mg 正确答案为B

例2 据报道，1980年一架英国战斗机在威尔士上空与一只秃鹰相撞，飞机坠毁. 小小的飞鸟撞坏庞大、坚实的飞机，真难以想像. 试通过计算，说明鸟对飞机的威胁，设飞鸟的质量 $m=1$kg，飞机的飞行速度为 $v=800$m/s，若两者相撞，试估算鸟对飞机的撞击力.

【巧解】 估算法

以鸟为研究对象. 为简化问题，假设碰撞前，鸟为横向飞行，和飞机相撞前速度可忽略（与飞机速度相比），相撞后可认为和飞机一起运动，速度仍为800m/s（因鸟的质量远小于飞机，故相撞后飞机的速度几乎不变）. 设鸟与飞机相撞变形改变的尺寸为 $L=0.2$m（基本为鸟的尺寸），则撞击时间 $t=\frac{L}{v}$. 由动量定理得 $Ft=mv$，所以 $F=\frac{mv}{t}=\frac{mv^2}{L}\approx3\times10^6$N.

例3 一个密度为 ρ_1 的塑料球，由液面上高 h 处自由下落到密度为 $\rho_2(\rho_2>\rho_1)$ 的液体中，设液体有足够的深度，不计液体的粘滞阻力，求小球在液体中的下沉时间.

【巧解】 （过程）整体法

设小球在液体中直至停止下沉的时间为 t_2. 在空中下落至液面为自由落体，该段时间 $t_1=\sqrt{2h/g}$，开始的动量和停止下沉时的动量都为零，对全过程由动量定理得：$mgt_1+(mg-F_浮)t_2=0$，即 $\rho_1vgt_1+(\rho_1vg-\rho_2vg)t_2=0$，解得：$t_2=\frac{\rho_1}{\rho_2-\rho_1}t_1=\frac{\rho_1}{\rho_2-\rho_1}\sqrt{\frac{2h}{g}}$

例4 （2004·全国理综天津卷）质量 $m=1.5$kg 的物块（可视为质点）在水平恒力 F 作用下，从水平面上 A 点由静止开始运动，运动一段距离撤去该力，物块继续滑行 $t=2.0$s 停在 B 点，已知 A、B 两点间的距离 $s=5.0$m，物块与水平面间的动摩擦因数 $\mu=0.20$，求恒力 F 多大.（$g=10$m/s^2）

【巧解】 类比法和（过程）整体法

题中既有时间，又有位移，选择适当的定理解题很重要，可以用类比思想，将动量定理和动能定理联系起来学习，以免列式时把物理量张冠李戴.

设撤去力 F 前物块的位移为 s_1，撤去力 F 时物块速度为 v，物块受到的滑动摩擦力 $F_1=\mu mg$，对撤去力 F 后物块滑动过程应用动量定理得 $-F_1t=0-mv$

由运动学公式得 $s-s_1=\frac{v}{2}t$

对物块运动的全过程应用动能定理 $Fs_1-F_1s=0$

由以上各式得 $F=\frac{2\mu mgs}{2s-\mu gt^2}$　代入数据解得 $F=15$N

例5 如图14，水平面上有两个滑块 A 和 B. 它们的质量分别为 $m_1=2$kg，$m_2=1$kg，它们与地面间的动摩擦因数均为0.02，现滑块 A 以某一速度滑行一段距离后，与静止的滑块 B 发生正碰，此后各自滑行一段距离后先后停止. A、B 运动的总时间分别为 $t_1=13$s，$t_2=15$s，其碰撞时间不计，试求滑块 A 滑行的初速度.

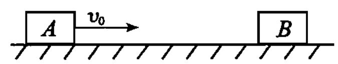


图14

【巧解】 （对象）整体法

A、B 整体受到的总冲量为 $I=-f_1t_1-f_2t_2=-\mu m_1gt_1-\mu m_2gt_2$，$A$、$B$ 整体的动量变化 $\triangle P=\triangle P_1+\triangle P_2=-m_1v_0$（以向右为正），根据动量定理有 $-\mu_1m_1gt_1-\mu m_2gt_2=-m_1v_0$，由此得 $v_0=\mu g(t_1+\frac{m_2}{m_1}t_2)=4.1$(m/s)

注意：将质点组看成整体的原则是，整体的合外力的冲量已知，或整体的动量变化已知，把质点组看作整体后，物体间的相互作用力就是内力，内力对物体的动量变化无影响.

例6 如图15－1，质量为 m 的质点，以速率 v 在水平面内作匀速圆周运动，当质点由 A 移到 B 作四分之一圆弧运动的过程中，求作用在质点上的合外力的冲量.

【巧解】 矢量图解法

质点作匀速圆周运动，所受合外力即为向心力大小不变，但方向不断改变，因此要求合外力的冲量可利用动量定理. $I=\triangle P=mv_B-mv_A$ 矢量合成图如图15－2，所以合外力冲量大小为，$I=\sqrt{(mv_B)^2+(mv_A)^2}=\sqrt{2}mv$，冲量的方向与水平方向夹角45°.

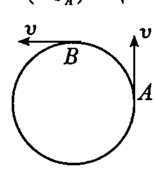


图15－1

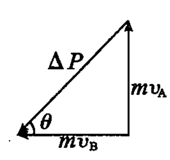


图15－2

例7 用电钻给建筑物钻孔时，钻头所受的阻力与深度成正比，若钻头匀速钻进时第一秒内阻力的冲量为100N·S，求5秒内阻力的冲量.

【巧解】 图象法

设钻头钻进墙壁的深度为 x，则钻头受到的阻力为 $f=kx$，k

为比例常数，又因为钻头是匀速前进的，则 $x=vt$，所以 $f=kvt$，阻力与时间成正比，作出 $f-t$ 图线，在时间 t 内阻力的冲量为 $I=\frac{1}{2}ft=\frac{1}{2}kvt^2$，因第 1 秒内的冲量为 100N·S，$I_1=\frac{1}{2}kv\times 1=100$，则 $kv=200$，所以 5s 内的冲量 $I=\frac{1}{2}kv5^2=2500(\text{N}\cdot\text{S})$

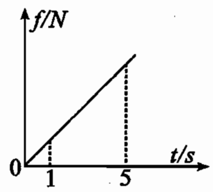


图 16

例 8 在水平面上堆放着一个单位长度质量为 m 的铁链，用手沿竖直方向提链子的一端 A，求当以速度 v 提起长为 l 的一段铁链时，所加 F 为多大？

【巧解】 微元法

作用在链子竖直部分 AB 的外力有向上的拉力 F 和重力 mg，设 t 时刻的动量为 mlv，在 $t+\triangle t$ 时刻的动量为 $m(l+\triangle l)v$，在 $\triangle t$ 时间内，由动量定理

$(F-mgl)\triangle t=m(l+\triangle l)v-mlv$，又 $v=\frac{\triangle l}{\triangle t}$，所以 $F=mgl+mv^2$

例 9 一列火车沿水平轨道匀速前进，火车的总质量为 m_1，车尾有一节质量为 m_2 的车厢脱落，当列车司机发现时，列车已行驶时间 t，于是立即关闭发动机，如果列车所受的阻力与重力成正比，且关闭发动机前，机车牵引力恒定，求：当列车两部分都停止运动，机车比末节车厢多运动了多长时间？

【巧解】 等效法

列车多运动的时间 $\triangle t$，是由于多受到牵引力冲量 km_1gt 的作用，而且这冲量大小正好等于它多受到的摩擦阻力的冲量 $k(m_1-m_2)g\triangle t$.

更多资料干货 关注微信公众号 学习第一线 赠送5000G学习大礼包

即 $km_1gt=k(m_1-m_2)g\triangle t$，所以 $\triangle t=\frac{m_1t}{m_1-m_2}$

例 10 质量为 m_1、m_2 的两个物体，初动能相同，如两物体分别受到不变的阻力 f_1、f_2，经相同时间停下来，他们的位移分别为 s_1、s_2，则 $s_1:s_2=$________ $f_1:f_2=$________.

【巧解】 比例法

由动能定理得：$-fs=0-E_{k0}$

由动量定理得：$ft=P_0$，$P_0=\sqrt{2E_{k0}m}$

则：$ft=\sqrt{2E_{k0}m}$，可见 $f\propto\sqrt{m}$，则 $s\propto 1/\sqrt{m}$，得：

$s_1:s_2=\sqrt{m_2}:\sqrt{m_1}$，$f_1:f_2=\sqrt{m_1}:\sqrt{m_2}$

例 11 一宇宙飞船以 $v=1.0\times10^4\text{m/s}$ 的速度进入密度为 $\rho=2.0\times10^{-9}\text{kg/m}^3$ 的微陨石流中，如果飞船垂直于运动方向上的最大截面积为 $S=5\text{m}^2$，且认为微陨石与飞船碰撞后都附着飞船上，则飞船受到的平均制动力为多大？

【巧解】 模型法

建立如下的"管道模型"：在时间 $\triangle t$ 内被飞船吸附的陨石都分布在以 S 为截面积，长为 $L=v\cdot\triangle t$ 的柱体内，这部分微小陨石的质量 $\triangle m=\rho SL=\rho vS\triangle t$. 它们被吸附后具有的动量 $P_2=\triangle mv=\rho v^2S\triangle t$. 吸附前的动量 $P_1=0$. 根据动量定理得飞船作用于这些陨石的平均作用力大小为 $F=|\frac{\triangle P}{\triangle t}|=\frac{\rho v^2S\triangle t}{\triangle t}=\rho v^2S$

根据牛顿第三定律，飞船受到的平均制动力

$F'=F=\rho v^2S=2.0\times10^{-9}\times(1.0\times10^4)^2\times5\text{N}=1.0\text{N}$

例 12 地面上以速度 v_1 竖直上抛一小球，若运动中受到的空气阻力与小球速率成正比，小球落回地面时速率为 v_2，则小球从抛出落回地面经历的时间是多少？

【巧解】 类比法和图象法、(过程)整体法

在物体向上运动的过程中，物体所受的空气阻力向下，因此物体以加速度 $\frac{mg+kv}{m}$ 做减速运动，加速度的大小逐渐减小；在物体向下运动的过程中，物体所受的空气阻力向上，因此物体以加速度 $\frac{mg-kv}{m}$ 做加速运动，加速度的大小也逐渐减小；从而可画出 $v-t$ 图象如图 17－1 所示，由上抛运动的对称性可知，在 t 轴的上方和下方的面积是相等的.



图 17

由于空气阻力与速度的大小成正比，从而可得 $f-t$ 图象与 $v-t$ 图象中的图线是完全相似的，如图 17－2 所示，所以 $f-t$ 图象的上方和下方的面积也是相等的. 这样一来在整个过程中的阻力冲量是等于零. 对整个过程用动量定理可得：

$mgt+I_f=m(v_1+v_2)$ $t=\frac{v_1+v_2}{g}$

例 13 一气球质量为 $M=200\text{kg}$，载有质量为 $m=50\text{kg}$ 的人，静止在空中距地面为 $h=20\text{m}$ 的地方，气球下悬一根质量可忽略不计的绳子，此人想从气球上沿绳慢慢地下滑至安全到达地面，则这根绳子至少为多长？

【巧解】 模型法

本题中，人沿绳子下滑 h，气球要上升(设上升 H)，本题中的人、气球分别相当于"人船模型"中的人、船，这里的 h、H 分别相当于"人船模型"中人、船的位移大小. 可得：$mh=MH$，则 $H=\frac{mh}{M}$. 显然，本题所求的绳子最小长度相当于"人船模型"中的船长，所以 $L_{min}=h+H=h+\frac{mh}{M}=25\text{m}$

例 14 如图 18－1 所示，质量为 m_B 的斜面体 B 放在质量为 m_A 的斜面体 A 的顶端，斜面体 A 放在水平面上，若斜面体 A 的下底边长度为 a，斜面体 B 的上边长度为 b，且 $m_A=2m_B$，不计一切摩擦，求当 B 由 A 的顶端从静止开始滑到 A 底端时，A 移动的距离.

【巧解】 模型法

画出图 18－2 所示的示意图，我们注意到，以 A、B 组成的系统动量不守恒，但该系统水平方向动量守恒(因为该系统水平方向不受外力). 设 A、B 在题述过程中的水平位移大小分别为 S_A、

S_B，则联想“人船模型”，可得：

$m_AS_A=m_BS_B$，又 $m_A=2m_B$，所以 $2S_A=S_B$，注意到 $S_B=a-S_A-b$，可得 $S_A=\frac{a-b}{3}$.

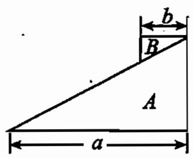


图 18－1

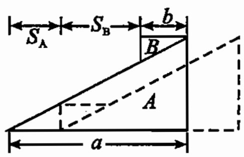


图 18－2

例15 质量为 M 的长木板静止在光滑水平面上，一质量为 m 的物体以水平速度 v_0 从左端进入木板的上表面，滑行时间 t，最终物体未从木板右端滑出，求物体相对于木板滑行的距离.

【巧解】 图象法

由题意在 $v-t$ 上分别作出物体与木板的速度随时间变化的图线（图19），$\triangle ABO$ 所围的面积值等于 $L=\frac{1}{2}v_0t$，

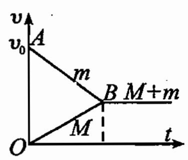


图 19

注意：本题物体与木块相互作用，满足动量守恒，符合“类子弹打木块”模型，但是本题用动量守恒却麻烦.

例16 质量为 m 的物块 A 以初速 v_0 滑上放在光滑水平面上的长木板 B，B 不固定，且 B 的长度为 L，质量为 M. A、B 间的摩擦系数为 μ，如果 A 能停在 B 上，求：A 停在 B 上的速度以及 A 在 B 上滑行的长度 S.

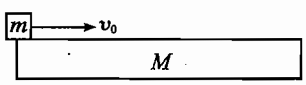


图 20

更多资料无忧 关注微信公众号 学习第一线 赠送5000G学习大礼包

【巧解】 模型法

符合“子弹打木块”模型. A 停在 B 上仅仅是相对速度为零，不是 A 的对地速度为零. 最终 A、B 达到共同速度：$mv_0=(m+M)v_共$，所以 $v_共=\frac{m}{m+M}v_0$，又系统能量守恒，系统克服内部摩擦力做功产生得热量等于系统动能的减少量：

$$\mu mgs=\frac{1}{2}mv_0^2-\frac{1}{2}(m+M)v_共^2，所以 s=\frac{Mv_0^2}{2\mu g(M+m)}.$$

例17 如图21，质量为 m 的物块 A 以初速 v_0 滑上放在光滑水平面上不固定的平板车 B，B 质量为 M，右端部分为光滑圆弧状（少于四分之一圆周），如果 A 可以冲到光滑圆弧部分，但并未冲出平板车的圆弧顶端，最终也没有从车上滑离.

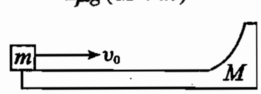


图 21

求：(1)不考虑 A、B 间摩擦，A 冲到最高点时的速度以及此时 A 离车面的高度.

(2)如车的水平部分长 L，A 与车的水平部分间的摩擦系数为 μ，A 最终停在车上哪里？

【巧解】 模型法

“类似子弹打木块”模型.

(1)到达平板车顶端时与平板车的速度相等 $mv_0=(m+M)v_共$，所以系统能量守恒，克服重力做功产生的重力势能等于系统动能的减少量. $mgh=\frac{1}{2}mv_0^2-\frac{1}{2}(m+M)v_共^2$，所以 $h=\frac{Mv_0^2}{2g(m+M)}$.

(2)最终速度仍是 $v_共=\frac{m}{m+M}v_0$，系统克服内部摩擦力做功产生得热量等于系统动能的减少量. $umgs=\frac{1}{2}mv_0^2-\frac{1}{2}(m+M)v_共^2$，所以 $S=\frac{Mv_0^2}{2\mu g(M+m)}$

则 A 停在距车左端 $2L-s=2L-\frac{Mv_0^2}{2\mu g(M+m)}$

例18 质量为 M，长为 L 的木块静止在光滑水平面上，一质量为 m 速度为 v_0 的子弹水平射入木块中，如果子弹所受阻力的大小恒为 F，欲使子弹不穿出木块，必须满足什么条件？

【巧解】 临界条件法

设最后子弹与木块共同的速度为 v，子弹刚好不穿出：$mv_0=(m+M)v$ ①，由系统能量守恒，$fs_{相对路程}=\Delta E_K$ 系统能损失等于摩擦生成的热量：

$$FL=\frac{1}{2}mv_0^2-\frac{1}{2}(m+M)v^2 \quad ②$$

由①②解得：$v_0=\sqrt{\frac{2FL(M+m)}{Mm}}$，欲使子弹不穿出木块 $v_0\leqslant\sqrt{\frac{2FL(M+m)}{Mm}}$.

例19 如图22，滑块 A、B 的质量分别为 m_1m_2，$m_1<m_2$，由轻质弹簧相连接，置于水平的气垫导轨上如图. 用一轻绳把两滑块拉至最近，使弹簧处于最大压缩状态后绑紧. 两滑块一起以恒定的速度 v_0 向右滑动. 突然轻绳断开，当弹簧伸长至本身的自然长度时，滑块 A 的速度正好为零，问在以后的运动过程中，滑块 B 是否会有速度为零的时刻？试定量分析、证明你的结论.

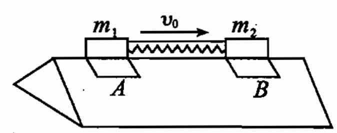


图 22

【巧解】 假设、推理法

当弹簧伸至自然长度时，弹簧的弹性势能全部转化为动能，A 滑块的速度为零，设 B 滑块的速度为 v，则由动量守恒和能量守恒有：

$(m_1+m_2)v_0=m_2v_2$，$E_{kB}=\frac{1}{2}mv_2^2=\frac{1}{2m_2}(m_1+m_2)^2v_0^2$，显然，$E_{kB}$ 为两滑块相互作用过程中的最大动能. 现假设以后运动中滑块 B 可以出现速度为零的时刻，并设此时滑块 A 的速度为 v_1，根据动量守恒得 $(m_1+m_2)v_0=m_1v_1$

此时滑块 A 的动能为 $E_{KA}=\frac{1}{2}m_1v_1^2=\frac{1}{2m_1}(m_1+m_2)^2v_0^2$，显然有 $E_{KA}\leqslant E_{KB}$，即 $\frac{1}{2m_1}(m_1+m_2)^2v_0^2\leqslant\frac{1}{2m_2}(m_1+m_2)^2v_0^2$

$\therefore m_2\leqslant m_1$，这一推理与已知条件不符，可见滑块 B 的速度永不为零.

例20 如图23－1所示，质量 $M=2m$ 的木板静止放在光滑水平面上，木板左端固定一根轻质弹簧，一质量为 m 的小木块

（可视为质点），从木块的右端以未知的速度 v_0 开始沿木板向左滑行，最终回到木板的右端，刚好未从木板滑出. 若在小木块压缩弹簧的过程中，弹簧具有最大弹性势能 E_p，小木块与木板间的滑动摩擦力大小不变，求未知速度 v_0 的大小.

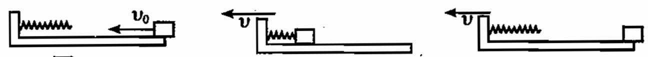


图23－1　　图23－2　　图23－3

【巧解】 模型法

木板、木块、弹簧三者所成系统动量守恒. 当木块与木板达到共同速度，两者相距最近，弹簧压缩量最大，弹簧具有最大弹性势能. $mv_0=(m+M)v$　①

从图1状态到图2状态，由系统能量守恒得：$\frac{1}{2}mv_0^2-\frac{1}{2}(m+M)v^2=E_p+Q$　②

最终木块未从木板滑出，即最终系统仍以①式中的 v 一起匀速运动，注意"刚好回到木板的右端"，说明图1到图2产生的热量与图2到图3产生的热量相等，则该过程：$E_p=Q$，$v_0=\sqrt{\frac{2E_p(M+m)}{Mm}}$

例21　如图24，A、B 两个木块用弹簧相连接，它们静止在光滑水平面上，A 和 B 的质量分别是 99m 和 100m，一颗质量为 m 的子弹以速度 v_0 水平射入木块 A 内没有穿出，则在后来的过程中弹簧弹性势能的最大值是多少？



图24

【巧解】 模型法（"子弹打木块"模型与"物体弹簧"模型综合）

子弹穿入木块 A 的瞬间，子弹和木块 A 发生完全非弹性碰撞，动量守恒，有 $mv_0=(m+M_A)v$　①

更多资料干货 关注微信公众号 学习第一线 赠送5000G学习大礼包

之后，木块 A（包括子弹）、弹簧和木块 B 组成的系统相互作用，同时满足动量守恒、机械能守恒，当 A、B 速度相等时，弹簧压缩量最大，此时弹簧弹性势能最大，列方程得 $(m+M_A)v=(m+M_A+M_B)v'$　②

$$\frac{1}{2}(M_A+m)v^2=\frac{1}{2}(m+M_A+M_B)v'^2+E_p \quad ③$$

由①②③得 $E_p=\frac{mv_0^2}{400}$

例22　（2010全国Ⅱ卷）小球 A 和 B 的质量分别为 m_A 和 m_B 且 $m_A>m_B$，在某高度处将 A 和 B 先后从静止释放. 小球 A 与水平地面碰撞后向上弹回，在释放处的下方与释放处距离为 H 的地方恰好与正在下落的小球 B 发生正碰，设所有碰撞都是弹性的，碰撞时间极短. 求小球 A、B 碰撞后 B 上升的最大高度.

【巧解】 守恒法

根据题意可知，小球 A 与 B 碰撞前的速度大小相等，设均为 v_0，由机械能守恒有

$$m_AgH=\frac{1}{2}m_Av_0^2 \quad 或\ m_BgH=\frac{1}{2}m_Bv_0^2 \quad ①$$

设小球 A 与 B 碰撞后的速度分别为 v_1 和 v_2，规定竖直向上方向为正，由动量守恒定律有

$$m_Av_0+m_B(-v_0)=m_Av_1+m_Bv_2 \quad ②$$

由于两球碰撞是弹性碰撞，故

$$\frac{1}{2}m_Av_0^2+\frac{1}{2}m_Bv_0^2=\frac{1}{2}m_Av_1^2+\frac{1}{2}m_Bv_2^2 \quad ③$$

联立②③式得：$v_2=\frac{3m_A-m_B}{m_A+m_B}$　④

设小球 B 能上升的最大高度为 h，由运动学公式有 $h=\frac{v_2^2}{2g}$　⑤

由①④⑤式得 $h=(\frac{3m_A-m_B}{m_A+m_B})^2H$　⑥

例23　（全国高考题）质量为 M 的小船以速度 v_0 行驶，船上有两个质量皆为 m 的小孩 a 和 b，分别静止站在船头和船尾. 现小孩 a 沿水平方向以速率 v（相对静止水面）向前跃入水中，然后小孩 b 沿水平方向以同一速率 v（相对于静止水面）向后跃入水中. 求小孩 b 跃出后小船的速度.

【巧解】 等效法　整体法

由于两小孩跃出时对水面有相同速率，故依次跃出和同时跃出产生的效果相同，即可相当 a、b 同时与船发生相互作用，设小孩 a、b 跃出后小船向前行驶的速度为 v_2，根据动量守恒定律有 $(M+2m)v_0=Mv_2+mv-mv$，解得 $v_2=(1+\frac{2m}{M})v_0$

拓变：本题中，小孩 a 是以相对船沿水平方向的速度 v 向前跃入水中，然后小孩 b 沿水平方向以相对船的速度 v 向后跃入水中，则船的速度又是多少？

【巧解】 程序法　（过程）隔离法

以小孩 a 和船及船上的小孩 b 为一系统，设小孩 a 跃出后小船向前运动的速度为 v_1，由动量守恒定律，有 $(M+2m)v_0=(M+m)v_1+m(v+v_1)$　①

以小孩 b 与小船为一系统，设小孩 b 跃出后小船向前运动的速度为 v_2，由动量守恒定律有 $(M+m)v_1=Mv_2-m(v-v_2)$　②

由①②得 $v_2=(1+\frac{2m}{M})v_0-\frac{m^2}{M(M+m)}v$

注意：小孩 a、b 在前后跃入水中的情景不相同，前者是以水的速度跃入水中，后者以相对船的速度 v 跃入水中，导致小船前后速度不相同. 因此，发生相互作用的多个物体，先后作用产生的效果相同，可以应用整体动量守恒；先后产生的效果不相同，则不能应用整体动量守恒，而应多考虑分系统，分过程动量守恒.

例24　如图25，在光滑水平面上，依次有质量为 m、$2m$、$3m$……$10m$ 的10个小球，排成一条直线，彼此间有一定的距离. 如图，开始时，后面9个小球静止，第一个小球以初速度 v_0 向着第二个小球碰去，结果它们先后全部粘合在一起向前运动，由于连续地碰撞，系统损失的机械能为多少？

【巧解】 整体法

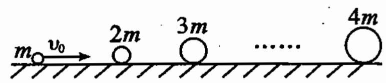


图25

设10个小球的总质量为 M，则 $M=\frac{n(n+1)}{2}m=55m$　①

对全过程由动量守恒：$mv_0=Mv'$　②

由①②式得 $v'=\frac{1}{55}v_0$　③

由能量守恒，系统损失的机械能为：$\Delta E=\frac{1}{2}mv_0^2-\frac{1}{2}Mv'^2$④

联立①③④式为：$\Delta E=\frac{27}{55}m{v_0}^2$

例25 (2003·江苏)图26－1所示为一根竖直悬挂的不可伸长的轻绳，下端拴一小物块A，上端固定在C点且与一能测量绳的拉力的测力传感器相连，已知有一质量为m_0的子弹B沿水平方向以速度v_0射向A内(未穿透)，接着两者一起绕C点在竖直面内做圆周运动．在各种阻力都可忽略的条件下测力传感器测得绳的拉力F随时间t的变化关系如图26－2所示，已知子弹射入的时间极短，且图26－2中$t=0$为A,B开始以相同速度运动的时刻，根据力学规律和题中(包括图)提供的信息，对反映悬挂系统本身性质的物理量为已知，例如A的质量及A、B一起运动过程的守恒量，你能求哪些定量的结果？

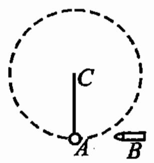


图26－1

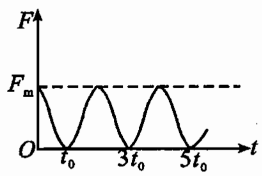


图26－2

【巧解】 特殊值法

由图26－2可直接看出，A、B一起做周期性运动，图形中的特殊值，分别对应最低点和最高点这两个特殊点．运动的周期$T=2t_0$ ①

令m表示A的质量，l表示绳长，v_1表示B陷入A内时的速度(即圆周运动最低点的速度)，v_2表示运动到最高点时的速度，F_1表示运动到最低点时绳的拉力，F_2表示运动到最高点时绳的拉力，根据动量守恒定律，得

更多资料干货 关注微信公众号 学习第一线 赠送5000G学习大礼包

$m_0v_0=(m_0+m)v_1$ ②

利用图形中的特殊值，分别对应最低点和最高点这两个特殊点(这两点也是竖直面内圆周运动的两个常考点)在最低点和最高点处运用牛顿定律可得

$$F_1-(m+m_0)g=(m+m_0)\frac{v_1^2}{l} \quad ③$$

$$F_2+(m+m_0)g=(m+m_0)\frac{v_2^2}{l} \quad ④$$

根据机械能守恒定律可得

$$2l(m+m_0)g=\frac{1}{2}(m+m_0)v_1^2-\frac{1}{2}(m+m_0)v_2^2 \quad ⑤$$

由图2可知

$F_2=0$ ⑥

$F_1=F_m$ ⑦

由以上各式可解得，反映系统性质的物理量是

$$m=\frac{F_m}{6g}-m_0 \quad ⑧$$

$$l=\frac{36m_0^2v_0^2}{5F_m^2} \quad ⑨$$

A,B一起运动过程中的守恒量是机械能E，若以最低点为势能的零点．则$E=\frac{1}{2}(m+m_0)v_1^2$ ⑩

由②⑧⑩式解得$E=\frac{3m_0^2v_0^2}{F_m}$

例26 如图27，光滑水平面上停着一只木球和载人小车，木球的质量为m，人和车的总质量为M，已知$M:m=16:1$．人以速度v_0沿水平面将木球推向正前方的固定挡板，木球被挡板弹回之后，人接住球再以同样的对地速度将球推向挡板，设木球与挡板碰撞时无动能损失，求人经过几次推球后，再也不能接住木球．

【巧解】 归纳法

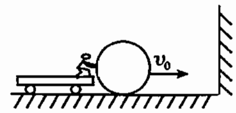


图27

由题意可知，当$v_n=v_车\geqslant v_球=v_0$时，就再接不住球了．

人第一次推球前后有$0=Mv_1-mv_0$，得$v_1=\frac{v_0}{16}$

人第二次推球前后有$Mv_1+mv_0=Mv_2-mv_0$，得$v_2=\frac{3v_0}{16}$

人第三次推球前后有$Mv_2+mv_0=Mv_3$ mv_0，得$v_3=\frac{5v_0}{16}$……，由以上各式可看出，人推球后，人和车各次的速度构成一等差数列．该等差数列的第一项$a_1=\frac{v_0}{16}$，公差$d=\frac{v_0}{8}$．由等差数列的通项公式$a_n=a_1+(n-1)d$得第n次推球后人的速度的表达式$v_n=\frac{v_0}{16}+(n-1)\frac{v_0}{8}=(2n-1)\frac{v_0}{16}$．由人再接不住的条件$v_0\leqslant v_n$，解得$n\geqslant 8.5$，取$n=9$，即人第9次推球后再也接不住球了．

例27 (2004·江苏)一个质量为M的雪橇静止在水平雪地上，一条质量为m的爱斯基摩狗站在该雪橇上．狗向雪橇的正后方跳下，随后又追赶并向前跳上雪橇；其后狗又反复地跳下，追赶并跳上雪橇，狗与雪橇始终沿一条直线运动．若狗跳离雪橇时雪橇的速度为v，则此时狗相对于地面的速度为$v+u$(其中u为狗相对于雪橇的速度，$v+u$为代数和．若以雪橇运动的方向为正方向，则v为正值，u为负值)．设狗总以速度v追赶和跳上雪橇，雪橇与雪地间的摩擦忽略不计．已知v的大小为5m/s，u的大小为4m/s，$M=30$kg，$m=10$kg．

(1)求狗第一次跳上雪橇后两者的共同速度的大小．

(2)求雪橇最终速度的大小和狗最多能跳上雪橇的次数．

(供使用但不一定用到的对数值：$lg2=0.301$，$lg3=0.447$)

【巧解】 通式法

(1)设雪橇运动的方向为正方向，狗第一次跳下雪橇后雪橇的速度为v_1根据动量守恒定律有$Mv_1+m(v_1+u)=0$

狗第1次跳上雪橇时，雪橇与狗的共同速度v'_1满足$Mv_1+mv=(M+m)v'_1$

可解得$v'_1=\frac{-Mmu+(M+m)mv}{(M+m)^2}$，将$u=-4m/s$，$v=5m/s$，$M=30kg$，$m=10kg$代入，得$v'_1=2m/s$

(2)设雪橇运动的方向为正方向．狗第$(n-1)$次跳下雪橇后雪橇的速度为v_{n-1}，则狗第$(n-1)$次跳上雪橇后的速度为v'_{n-1}满足$Mv_{n-1}+mv=(M+m)v'_{n-1}$这样，狗第$n$次跳下雪橇后，雪橇的速度为$v_n$满足$Mv_n+m(v_n+u)=(M+m)v'_{n-1}$，解得$v_n=(v-u)[1-(\frac{M}{M+m})^{n-1}]-\frac{mu}{M+m}(\frac{M}{M+m})^{n-1}$，狗追不上雪橇的条件是$v_n\geqslant v$．

可化为$(\frac{M}{M+m})^{n-1}\leqslant\frac{(M+m)u}{Mu-(M+m)v}$最后求得$n\geqslant 1+\frac{\lg[\frac{Mu-(M+m)v}{(M+m)u}]}{\lg(\frac{M+m}{M})}$代入数据求得$n\geqslant 3.41$，狗最多能跳上雪橇3次，雪橇最终的速度大小为$v_4=5.625\text{m/s}$.

例28 长为L的轻绳一端系于固定点O，另一端系质量为m的小球，将小球从O点正下方$\frac{1}{4}L$处，以一定速度水平向右抛出，经一段时间绳被拉直以后，小球将以O点为支点在竖直面内摆动. 已知绳刚被拉直时，绳与竖直线成60°角，如图28，求：

(1)小球水平抛出时的速度v_0；

(2)在绳被拉紧的瞬间，支点O受到的冲量I；

(3)小球摆到最低点时，绳所受的拉力T.

【巧解】 速度分解法

本题是力学知识的综合应用题，涉及到平抛运动、圆周运动、动量定理、机械能守恒和牛顿第二定律. 解此题的关键是分析清楚物体的运动过程.

(1)小球在绳被拉直前作平抛运动，设小球抛出后经时间t绳被拉直，则$v_0t=L\sin60°$

$L\cos60°-\frac{1}{4}L=\frac{1}{2}gt^2$，由此解得：$t=\sqrt{\frac{L}{2g}}$，$v_0=\frac{1}{2}\sqrt{6gL}$

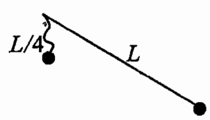


图28

(2)绳被拉直前的瞬间，小球的水平速度分量为v_0，竖直分量$v_y=gt=g\sqrt{\frac{L}{2g}}=\sqrt{\frac{gL}{2}}=\frac{\sqrt{2gL}}{2}$，速度大小为$v=\sqrt{v_0^2+v_y^2}=\sqrt{2gL}$，速度$v$与竖直方向的夹角为$\varphi$，则$\tan\varphi=\frac{v_0}{v_y}=\sqrt{3}$，$\therefore\varphi=60°$

更多资料干货 关注微信公众号 学习第一线 赠送5000G学习大礼包

可见小球速度与绳沿同一直线，小球动量在绳拉力的冲量作用下减为零，于是O点所受冲量在数值上等于小球在绳拉直前后瞬间的动量变化量，即$I=0-mv=-m\sqrt{2gL}$，拉直后瞬间，小球沿绳方向的动量为零.

(3)绳拉直后，小球向下摆动过程中，机械能守恒，设小球到最低点时的速度为v'，则由机械能守恒定律有：$mgL(1-\cos60°)=\frac{1}{2}mv'^2$

$\therefore mv'^2=mgL$，小球在最低点，受到向上绳的拉力，向下的重力作用，由牛顿第二定律有$T-mg=m\frac{v^2}{L}$，所以$T=mg+m\frac{v'^2}{L}=2mg$

例29 (2005·江苏)如图29所示，三个质量均为m的弹性小球用两根长均为L的轻绳连成一条直线而静止在光滑水平面上，现给中间的小球B一个水平初速度v_0，方向与绳垂直. 小球相互碰撞时无机械能损失，轻绳不可伸长. 求：

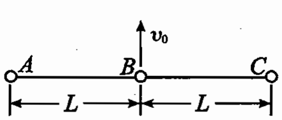


图29

(1)当小球A、C第一次相碰时，小球B的速度.

(2)当三个小球再次处在同一直线上时，小球B的速度.

(3)运动过程中小球A的最大动能E_{KA}和此时两根绳的夹角θ.

(4)当三个小球处在同一直线上时，绳中的拉力F的大小.

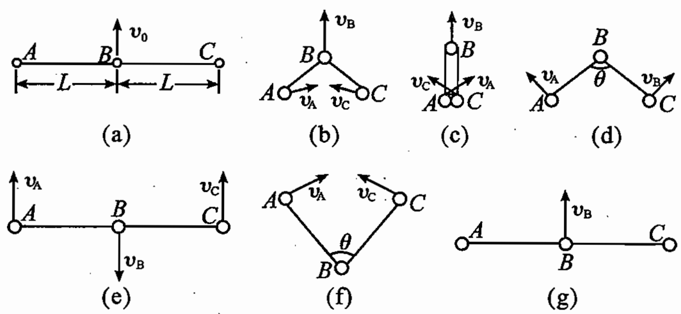


图30

【巧解】 对称法

题中给位于中间的小球B一个初速度v_0，这就使B球对A、C两球或者A、C两球对B球同时产生两个对称的作用力，导致A、C两球运动状态和运动过程及轨迹，始终关于B球球心且与初速度v_0共线的直线对称，按数学述语，属对称图形. 整个运动过程是周期性变化的，现定性(限于篇幅，有关过程的定量分析或证明从略)地画出一个周期的运动过程图(a)到图(g)所示.

(1)如图(c)所示，设小球A、C第一次相碰时，小球B的速度为v_B，考虑到对称性及绳的不可伸长特性，小球A、C沿小球B初速度方向的速度也为v_B，由动量守恒定律，得$mv_0=3mv_B$，由此解得$v_B=\frac{1}{3}v_0$

(2)当三个小球再次处在同一直线上时，如图(e)所示，注意A、C两球速度对称相等，则由动量守恒定律和机械能守恒定律，得$mv_0=mv_B+2mv_A$，$\frac{1}{2}mv_0^2=\frac{1}{2}mv_B^2+2\times\frac{1}{2}mv_A^2$，解得$v_B=-\frac{1}{3}v_0$ $v_A=\frac{2}{3}v_0$(三球再次处于同一直线)

$v_B=v_0$，$v_A=0$[初始状态，属图(a)或(g)状态，舍去]所以，三个小球再次处在同一直线上时，小球B的速度为$v_B=-\frac{1}{3}v_0$(负号表明与初速度反向).

(3)如图(d)所示，当小球A的动能最大时，小球B的速度为零，注意到A、C两球速度均与绳垂直及两侧的对称性，设此时小球A、C的速度大小为v_A，两根绳间的夹角为θ(如图)，则仍由动量守恒定律和机械能守恒定律，得$mv_0=2mv_A\sin\frac{\theta}{2}$，$\frac{1}{2}mv_0^2=2\times\frac{1}{2}mv_A^2$，另外，$E_{KA}=\frac{1}{2}mv_A^2$

由此可解得，小球A的最大动能为$E_{KA}=\frac{1}{4}mv_0^2$，此时两根绳间夹角为$\theta=90°$.

(4)当三个小球处在同一直线上时有两种可能状态，如图(a)和(e)，以小球B为参考系(小球B的加速度为0，为惯性参考系)，小球A、C均以半径L绕小球B做圆周运动，小球A(C)相对于小球B的速度均为$v=|v_A-v_B|=v_0$所以，此时绳中拉力大小为：$F=m\frac{v^2}{L}=m\frac{v_0^2}{L}$

第二十章 动量守恒定律综合测试

一、选择题(4 分×11 =44 分).

1. 相向运动的 A、B 两辆小车相撞后，一同沿 A 原来的方向前进，这是由于(　　)

A. A 车的质量一定大于 B 车的质量

B. A 车的速度一定大于 B 车的速度

C. A 车的动量一定大于 B 车的动量

D. A 车的动能一定大于 B 车的动能

2. 如果物体在任何相等时间内受到的合冲量都相同(不为 0)，则物体的运动是(　　)

A. 可能是匀变速直线运动　　B. 可能是匀变速曲线运动

C. 可能是匀速直线运动　　D. 可能是匀速圆周运动

3. 一个质量为 m 的小球，以速度 v 垂直射向竖直墙壁，碰后又以相同的速率反弹回. 则(　　)

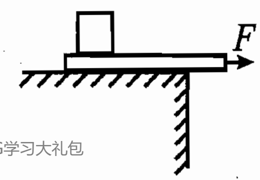
A. 竖直墙壁对小球的冲量等于 0

B. 竖直墙壁对小球的冲量的大小等于 $2mv$

C. 竖直墙壁对小球做的功是 0

D. 竖直墙壁对小球做的功是 mv^2

4. 如右图，把重物 G 压在纸带上，用一水平力缓缓拉动纸带，重物跟着一起运动；若迅速拉动纸带，纸带将会从重物下面抽出，解释这些现象的正确说法是(　　)



更多资料干货 关注微信公众号 学习第一线 赠送5000G学习大礼包

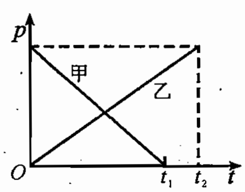
A. 在缓缓拉动时，重物和纸带间的摩擦力大

B. 在迅速拉动时，纸带给重物的摩擦力小

C. 在缓缓拉动时，纸带给重物的冲量大

D. 在迅速拉动时，纸带给重物的冲量小

5. 甲、乙物体分别在恒力 F_1、F_2 的作用下，沿同一直线运动，它们的动量随时间变化的关系如图所示，设甲在 t_1 时间内所受冲量为 I_1，乙在 t_2 时间内所受冲量为 I_2，则 F、I 的大小关系是(　　)



A. $F_1>F_2$，$I_1=I_2$

B. $F_1<F_2$，$I_1<I_2$

C. $F_1>F_2$，$I_1>I_2$

D. $F_1=F_2$，$I_1=I_2$

6. 如图所示，在一个足够大的光滑平面内有 A、B 两个质量相同的木块，中间用轻质弹簧相连. 今对 B 施以水平冲量 $F\Delta t$(Δt 极短). 此后 A、B 的情况是(　　)



A. 在任意时刻，A、B 加速度大小相同

B. 弹簧伸长到最长时，A、B 速度相同

C. 弹簧恢复到原长时，A、B 动量相同

D. 弹簧压缩到最短时，系统总动能最小

7. 汽车拉着拖车在平直的公路上匀速行驶，突然拖车与汽车脱钩，而汽车的牵引力不变，各自受的阻力不变，则在拖车停止运动前(　　)

A. 汽车和拖车的总动量不变　　B. 汽车和拖车的总动能不变

C. 汽车和拖车的总动量增加　　D. 汽车和拖车的总动能增加

8. 一个绕地球做半径为 r 的匀速圆周运动的人造卫星，在轨道上炸裂成两块，两块质量之比 $m_A:m_B=k:1$，其中 A 仍沿原轨道运动，则(　　)

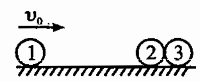
A. B 也仍然沿原轨道运动

B. B 绕地球运行的轨道半径要增大

C. A、B 速率之比变为 $1:(2k+1)$

D. A、B 速率之比为 1:1

9. 如图所示，在光滑水平地面上有三个完全相同的小球排成一条直线. 2、3 小球静止，并靠拢在一起，1 球以速度 v_0 射向它们，设碰撞中不损失机械能，则碰后三个小球的速度可能值是(　　)



A. $v_1=v_2=v_3=\frac{1}{\sqrt{3}}v_0$　　B. $v_1=0,v_2=v_3=\frac{1}{\sqrt{2}}v_0$

C. $v_1=0,v_2=v_3=\frac{1}{2}v_0$　　D. $v_1=v_2=0,v_3=v_0$

10. 子弹在射入固定木板前动能为 E_1，动量为 p_1；子弹穿过木板后的动能为 E_2，动量为 p_2，则子弹在木板中运动时的平均速度大小等于(木板对子弹的阻力为恒力)(　　)

A. $\frac{E_1+E_2}{p_1+p_2}$　　B. $\frac{E_1-E_2}{p_1-p_2}$　　C. $\frac{E_1}{p_1}+\frac{E_2}{p_2}$　　D. $\frac{E_1}{p_1}-\frac{E_2}{p_2}$

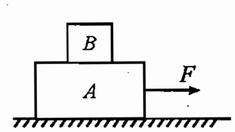
11. 甲、乙两球在光滑水平面上沿同一直线向同一方向运动，它们的动量 $P_甲=5\text{kg}\cdot\text{m/s}$，$P_乙=7\text{kg}\cdot\text{m/s}$，已知甲球速度大于乙球速度，当甲球与乙球碰后，乙球动量变为 $10\text{kg}\cdot\text{m/s}$，则 $m_甲$、$m_乙$ 关系可能是(　　)

A. $m_甲=m_乙$　　B. $m_甲=\frac{1}{2}m_乙$

C. $m_甲=\frac{1}{5}m_乙$　　D. $m_甲=\frac{1}{10}m_乙$

二、填空题(5 分×3 =15 分)

12. 如图所示，质量分别为 m_A、m_B 的木块叠放在光滑的水平面上，在 A 上施加不平衡力 F，使两木板从静止开始做匀变速运动，A、B 无相对滑动，则经过时间 t，木块 A 所受的合外力的冲量为________，木板 B 的动量的增量 Δp 为________.



13. 有一宇宙飞船，它的正面面积 $S=0.98\text{m}^2$，以 $v=2\times10^3\text{m/s}$ 的速度飞入一宇宙微粒尘区，每一微粒平均质量 $m=2\times10^{-4}\text{g}$，若此尘区每立方米的空间有一微粒，则为使飞船的速度不变，飞船的牵引力应增加________.(设微料与飞船外壳

相碰后附着于飞船上）

14. 质量为 $m=100kg$ 的小船静止在水面上，船上左、右两端各站着质量分别为 $m_甲=40kg$，$m_乙=60kg$ 的游泳者，当他们在同一水平线上，甲朝左、乙朝右，同时以相对河岸 3m/s 的速率跃入水中时，小船运动方向为______，运动速率为______.

三、实验题（5 分）

15. 在做碰撞中的动量守恒实验中，不需要测量的物理量有（　　）

A. 入射小球和被碰小球的质量

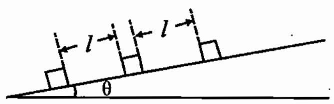
B. 入射小球和被碰小球的直径

C. 斜槽轨道的末端距地面的高度

D. 入射球开始滚下时的初始位置与碰撞前位置的高度差

四、计算题（共 42 分）

16. （18 分，2009·全国Ⅰ卷）如图所示，倾角为 θ 的斜面上静止放置三个质量均为 m 的木箱，相邻两木箱的距离均为 l。工人用沿斜面的力推最下面的木箱使之上滑，逐一与其他木箱碰撞。每次碰撞后木箱都粘在一起运动。整个过程中工人的推力不变，最后恰好能推着三个木箱匀速上滑。已知木箱与斜面间的动摩擦因数为 μ，重力加速度为 g。设碰撞时间极短，求



（1）工人的推力；

（2）三个木箱匀速运动的速度；

（3）在第一次碰撞中损失的机械能。

更多资料干货 关注微信公众号 学习第一线 赠送5000G学习大礼包

17. （16 分，2009·重庆卷）2009 年中国女子冰壶队首次获得了世界锦标赛冠军，这引起了人们对冰壶运动的关注。冰壶在水平冰面上的一次滑行可简化为如下过程：如题 23 图，运动员将静止于 O 点的冰壶（视为质点）沿直线 OO′推到 A 点放手，此后冰壶沿 AO′滑行，最后停于 C 点，已知冰面和冰壶间的动摩擦因数为 μ，冰壶质量为 m，AC = L，CO′ = r，重力加速度为 g。

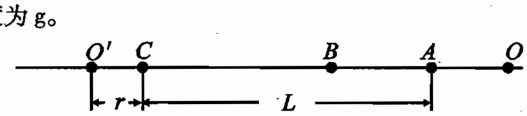


图 23

（1）求冰壶在 A 点的速率；

（2）求冰壶从 O 点到 A 点的运动过程中受到的冲量大小；

（3）若将 BO′段冰面与冰壶间的动摩擦因数减小为 0.8μ，原只能滑到 C 点的冰壶能停于 O′点，求 A 点与 B 点之间的距离。

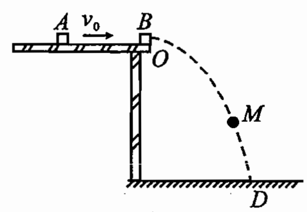
18. （11 分，2008·北京）有两个完全相同的小滑块 A 和 B，A 沿光滑水平面以速度 v_0 与静止在平面边缘 O 点的 B 发生正碰，碰撞中无机械能损失，碰后 B 运动的轨迹为 OD 曲线，如图所示.

（1）已知小滑块质量为 m，碰撞时间为 Δt，求碰撞过程中 A 对 B 平均冲力的大小；

（2）为了研究物体从光滑抛物线轨道顶端无初速下滑的运动，特制做一个与 B 平抛轨迹完全相同的光滑轨道，并将该轨道固定在与 OD 曲线重合的位置，让 A 沿该轨道无初速下滑（经分析，A 下滑过程中不会脱离轨道）.

a. 分析 A 沿轨道下滑到任意一点的动量 p_1 与 B 平抛经过该点的动量 p_B 的大小关系；

b. 在 OD 曲线上有一 M 点，O 和 M 两点连线与竖直方向的夹角为 45°，求 A 通过 M 点时的水平分速度和竖直分速度.

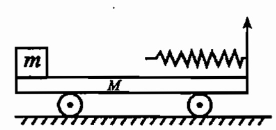


19. （11 分）如图所示，质量为 4kg 的平板小车静止在光滑的水平地面上，小车左端放一质量为 1kg 的木块，车的右端固定一个轻质弹簧，现给木板一个水平向右 10N·s 的瞬时冲量，木板便沿车板向右滑行，在与弹簧相碰后又沿原路返回，并且恰好能到达小车的右端，求：

（1）弹簧被压缩到最短时平板车的动量.

（2）木板返回小车左端时的动能.

（3）弹簧获得的最大弹性势能.



第二十一章 波粒二象性

难点巧学

一、光电效应

1. 借助两条假设来解释光电效应规律：

①设想当光射到金属表面时，金属中的一个电子只吸收一分光子的能量，一个光子的能量也只能传递给一个电子.

②电子吸收一份光子的能量后，可能向各个方向运动，因而克服原子核对它的引力做功不同，从金属表面逸出时，光电子的初动能大小也就不同，只有直接从金属最外表面逸出的光电子才具有最大的初动能.

2. 用功能关系巧学光电效应中各物理量间的关系：

使电子脱离某种金属所做功的最小值，叫这种金属的逸出功，用 W 表示，由上面第二条假设可知，只有金属最外面表面上的电子吸收光子的能量 E 后飞出时，克服原子核对它的吸引力做功最小.

①若光子的能量 $E<W$，则电子吸收了光子能量后，还不足以克服原子核的引力而飞出，无论光多么强，照射时间多么长，也没有电子飞出.

信公众号 学习第一线 赠送5000G学习大礼包

②若 $E=W$，则此时金属最外表面上的电子吸收光的能量后，恰好能克服原子核的引力做功，摆脱原子核的束缚，这说明此时恰好发生光电效应. 此时光子的频率，也就是该种金属的极限频率，即 $\nu_0=\frac{W}{h}$，W 为该金属的逸出功，h 为普朗克常量；

③若 $E>W$，则表示光电子在克服原子核能引力做功后，还有剩余的动能，由能量守恒可得：光电子的最大初动能 $E_k=h\nu-w$. 此即爱因斯坦的光电效应方程. 由此式可知，光电子的最大初动能 E_k 只随入射光的频率增大而增大.

3. 用图象法巧学光电效应方程：

用图象表示光电效应方程中各物理量之间的关系，如图1所示：图中 ν_0 为该金属的极限频率；W 为该金属的逸出功；直线的斜率 $k=\frac{|-w|}{\nu_0}=h$，即直线的斜率表示普朗克量.

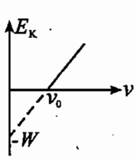


图 1

由图象可知：只有当入射光的频率 $\nu\geq\nu_0$ 时，才能发生光电效应，ν 越大，逸出光电子的最大初动能 E_k 也越大；不同金属的光效应方程的图象是彼此平行的直线.

二、光的波粒二象性的理解

光的粒子性和波动性是光在不同条件下的不同表现.

①光和其他物质发生相互作用时是“一份一份”的，一份即一个光子，表现为粒子性. 例如当光子数很少时，我们通过感光胶片可以清楚地看到光子的痕迹.

②大量光子在传播过程中表现为波动性. 例如：光的干涉现象中，我们看到的明条纹实际上是光子到达多的区域，暗条纹是光子到达少的区域，其到达区域的可能性大小恰能用波动的规律来描述.

③光子和实物粒子一样具有能量和动量，光子的能量 $E=h\nu$，动量 $p=\frac{h\nu}{c}=\frac{h}{\lambda}$，等式左边表示粒子性，等式右边表示波动的性质，这两种性质通过普朗克常量 h 定量地联系起来，这是光的波粒二象性的体现.

④从波的特性上看，波长越长，频率越小，能量越小，不易观察到粒子性，而更容易观察到波动性，如：反射、干涉、衍射等；波长越小，频率越大，能量越大，更容易观察到它的粒子性，其穿透能力越强，而不易观察到波动性.

三、氢原子的能级

1. 用模型法巧学氢原子的能级：

根据波尔理论，我们可以将氢原子建立为这样的一个模型：氢原子核外的电子以速度 v_n 在以 r_n 为半径的轨道上绕核做匀速圆周运动，如图2所示，原子核对电子的库仑力提供向心力，即 $k\frac{e^2}{r_n^2}=m\frac{v_n^2}{r_n}$，所以电子的动能 $E_{kn}=\frac{1}{2}mv_n^2=\frac{ke^2}{2r_n}$，又因为电子和原子核组成的系统具有电势能，取无穷远处为零电势能，电子从无穷远处运动到半径为 r_n 的轨道上时，电场力对电子做正功，系统的电势能减小，由变力做功的方法可得系统的电势能 $Ep=-\frac{ke^2}{r_n}$.

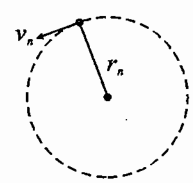


图 2

氢原子的能量值是氢原子的核外电子绕核运动时的动能 E_{kn} 和系统电势能 E_{pn} 的代数和. 即 $E_n=E_{kn}+E_{pn}=-\frac{ke^2}{2r_n}$.

由玻尔理论可得：氢原子的轨道半径公式为 $r_n=n^2r_1$（n=1，2，3……）

所以氢原子的能量公式为 $En=-\frac{ke^2}{2r_n}=\frac{E_1}{n^2}$（$n=1,2,3,\cdots\cdots$）

各状态的标号 n 叫做量子数. 当 $n=1$ 时，能量最低，叫基态. 据此可做出氢原子的能级图，见课本图5.

2. 氢原子能级间的跃迁规律：

①氢原子自发跃迁的特点

氢原子处于基态时最稳定，处于高能级时，会自发地向低能级跃迁，并最终到达基态，同时释放出光子，光子的能量 $h\gamma = E_{初} - E_{末}$

例如：当一群处于 n 能级的氢原子向低能级发生跃迁时，可能发生的光谱线条数 $m = C_n^2 = \frac{n(n-1)}{2}$.

②氢原子由低能级向高能级跃迁的特点

有两种方式可使其发生：

一是吸收光子. 但只是有"选择"地吸收那些能量值等于始末两能级差的光子. 或吸收能量值大于或等于13.6ev的光子，而此时会使氢原子直接电离；

二是与实物粒子如电子、粒子等发生碰撞. 碰撞过程中会全部或部分地吸收实物粒子的能量，即只要是实物粒子的能量大于或等于基态与某个激发态的能量之差，就可以使氢原子激发而跃迁到这一能级上.

3. 用类比法巧学氢原子跃迁时各物理量的变化规律：

电子绕氢原子核运动的模型与人造地球卫星绕地球运行的模型相同. 而且库仑力和万有引力的表达式非常相似. 氢原子在不同能级间跃迁时，其核外电子的速度，动能，原子的电势能和总能量的变化规律，可与人造地球卫星在不同轨道上运动时的规律相类比：

氢原子核外电子与核	人造卫星与地球
核对电子的库仑提供向心力，使电子绕核运动.	地球对卫星的万有引力提供向心力，使卫星绕地球运动.
核外电子从内层轨道向外层轨道跃迁时，轨道半径增大，需克服库仑力做功，原子的电势能增大；电子绕核运动的速度减小，动能减小；增加的电势能大于减小的动能，总的能量增加，需要吸收能量.	卫星从近地轨道远离地球时，轨道半径增大，需克服地球引力做功，卫星的势能增加；绕地球运动的线速度减小，动能减小；总能量增加，外界对卫星做正功.
核外电子从外层轨道向内层轨道跃迁时，轨道半径减小，库仑力对电子做正动，原子的电势能减小；电子绕核运动的速度增大，动能增加；增加的动能小于减小的电势能，总的能量减小，放出光子.	卫星向地球靠近时，轨道半径减小，地球的引力做正功，卫星的势能减小；运行的线速度增大，动能增加；总能量减小，外界对卫星做负功.

活题巧解

例1 关于光电效应的规律，下面说法中正确的是(　　)

A. 当某种色光照射金属表面时，能产生光电效应，则入射光的频率越高，产生的光电子的最大初动能越大

B. 当某种色光照射金属表面时，能产生光电效应，则入射光的强度越大，产生的光电子数越多

C. 同一频率的光照射不同金属，如果都能产生光电效应，则逸出功大的金属产生的光电子的最大初动能也越大

D. 对某金属入射光波长必须小于或等于某一极限波长，才能产生光电效应

【巧解】 规律法

由光电效应方程 $E_k = h\nu - w$，可知，对于某种金属其逸出功是一个定值. 入射光频率越高，光子能量越大，产生的光电子的最大初动能越大，故A项正确；而同一频率的光，光子的能量一定，不同金属的逸出功不同，逸出功越大，产生光电子的最大初动能就越小，故C项错误. 由光电效应的规律可知，入射光的强度表示单位时间内单位面积上的光子数量，光子数量越多，产生的光电子也就越多，故B项正确. 发生光电效应时有一极限频率，与之对应也就有一极限波长，由 $\lambda_0 = \frac{c}{\nu_0}$ 可知，入射光的频率大于或等于极限频率 ν_0，而波长必须小于或等于极限波长，才能发生光电效应，故D项正确.

【答案】 A、B、D

例2 (2004·全国卷)下表给出了一些金属材料的逸出功. 现用波长为400mm的单色光照射上述材料，能产生光电效应的材料最多有几种(普朗克常量 $h = 6.6\times10^{-34}$ J·s，光速 $c = 3.0\times10^8$ m/s)(　　)

材料	铯	钙	镁	铍	钛
逸出功 ($\times10^{-19}$J)	3.0	4.3	5.9	6.2	6.6

A. 2种　　B. 3种　　C. 4种　　D. 5种

【巧解】 规律法

发生光电效应的条件是光子的能量E大于或等于该种金属的逸出功W，即 $E \geqslant W$，又由 $E = h\nu = h\frac{c}{\lambda}$，所以能发生光电效应的金属的逸出功 $W \leqslant h\frac{c}{\lambda} = \frac{6.6\times10^{-34}\times3.0\times10^8}{400\times10^{-9}} = 4.95\times10^{-19}$ J

故只有铯和钙能发生光电效应.

【答案】 A

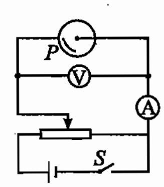


图3

例3 (2003·全国新课程卷)如图3所示，当开关断开时，用光子能量为2.5ev的一束光照射阴极P，发现电流表读数不为零. 合上开关，调节滑线变阻器，发现当电压表读数小于0.60V时，电流表读数不为零；当电压表读数大于或等于0.6V时，电流表读数为零. 由此可知阴极的材料的逸出功为(　　)

A. 1.9ev　　B. 0.6ev　　C. 2.5ev　　D. 3.1ev

【巧解】 临界值法

在光电管上加的0.60V的反向电压是电流表有无读数的分

界点. 由功和能的关系可知,此时光电子的最大初动能全部克服电场力做功,即 $E_k=ev=0.6\text{ev}$,

又由光电效应方程 $E_k=h\nu-w$ 得:

$W=h\nu-E_k=2.5\text{ev}-0.60\text{ev}=1.9\text{ev}$

【答案】 A

例4 已知地球上垂直于太阳光的每平方米接受太阳光的辐射为 $1.4\times10^3\text{W}$,其中可见光部分的辐射能为45%,设可见光平均波长为 $0.55\mu\text{m}$,日地距离为 $R=1.5\times10^{11}\text{m}$,普朗克常量 $h=6.63\times10^{-34}\text{J}\cdot\text{S}$,估算太阳每秒钟辐射出可见光的光子数(保留两位有效数字).

【巧解】 模型法 守恒法

每个可见光光子的能量为 $E=h\nu=h\dfrac{c}{\lambda}=\dfrac{6.63\times10^{-34}\times3\times10^8}{0.55\times10^{-6}}\text{J}=3.6\times10^{-19}\text{J}$. 地球上垂直于太阳光的每平方米的面积上每秒接收的光子数:

$n=\dfrac{1.4\times10^3\times45\%}{3.6\times10^{-19}}=1.75\times10^{21}$个

以太阳为球心,日地距离 R 为半径的球面面积:$S=4\pi R^2$,所以太阳每秒辐射出可见光的光子数 $N=ns=5.0\times10^{44}$个.

【答案】 5.0×10^{44}个

例5 同一频率的光照射到甲、乙两种不同的金属,它们释放的光电子在磁感应强度为 B 的匀强磁场中做匀速圆周运动,它们的最大半径之比为2:1,则下列说法中正确的是( )

A. 甲、乙两种金属的逸出功之比为2:1

B. 光电子的最大初速度之比为2:1

更多资料干货 关注微信公众号 学习第一线 赠送5000G学习大礼包

C. 光电子的最大初动能之比为2:1

D. 光电子的最大动量之比为2:1

【巧解】 综合法 比例法

因它们释放出的都是光电子,所以它们质量 m,电量 e 都相同,由带电粒子在匀强磁场中做匀速圆周运动的半径 $r=\dfrac{mv}{eB}$ 可得:$v=\dfrac{eBr}{m}$. 故 $\dfrac{v_1}{v_2}=\dfrac{r_1}{r_2}=\dfrac{2}{1}$

由动能公式得光电子的最大初动能之比:

$$\frac{E_{k1}}{E_{k2}}=\frac{\frac{1}{2}mv_1^2}{\frac{1}{2}mv_2^2}=\frac{v_1^2}{v_2^2}=\frac{4}{1}.$$

光电子的最大动量之比:

$$\frac{mv_1}{mv_2}=\frac{v_1}{v_2}=\frac{2}{1}.$$

又由光电效应方程 $E_k=h\nu-w$ 得:

$w=h\nu-E_k$ 所以 $\dfrac{W_1}{W_2}\neq\dfrac{2}{1}$.

【答案】 B、D

例6 (2010天津卷)用同一光电管研究 a、b 两种单色光产生的光电效应,得到光电流 I 与光电管两极间所加电压 U 的关系如图4. 则这两种光( )

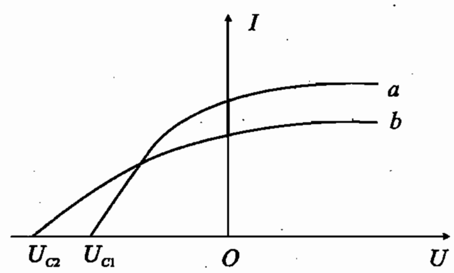


图4

A. 照射该光电管时 a 光使其逸出的光电子最大初动能大

B. 从同种玻璃射入空气发生全反射时,a 光的临界角大

C. 通过同一装置发生双缝干涉,a 光的相邻条纹间距大

D. 通过同一玻璃三棱镜时,a 光的偏折程度大

【巧解】 推理法

$$\Delta x_a>\Delta x_b\begin{cases}\Delta x=\dfrac{\lambda}{d}L\\ \lambda_b<\lambda_a\end{cases}$$

⇑

$$\left.\begin{array}{l}|U_{C2}|>|U_{C1}|\Rightarrow E_{kmb}>E_{kma}\\ E_{km}=h\nu-W\end{array}\right\}\nu_b>\nu_a$$

⇓

$$C_b<C_a\begin{cases}n_b>n_a\\ \sin C=\dfrac{1}{n}\end{cases}$$

【答案】 BC

例7 (2005·天津理综)某光电管的阴极是用金属钾制成的,它的逸出功为2.21ev,用波长为 $2.5\times10^{-7}\text{m}$ 的紫外线照射阴极,已知真空中光速为 $3.0\times10^8\text{m/s}$,元电荷为 $1.6\times10^{-19}\text{C}$,普朗克常量为 $6.63\times10^{-34}\text{J}\cdot\text{S}$,求得钾的极限频率和该光电管发射的光电子的最大动能应分别是( )

A. $5.3\times10^{14}\text{Hz}$ 2.2J

B. $5.3\times10^{14}\text{Hz}$ $4.4\times10^{-19}\text{J}$

C. $3.3\times10^{33}\text{Hz}$ 2.2J

D. $3.3\times10^{34}\text{Hz}$ $4.4\times10^{-19}\text{J}$

【巧解】 极值法 规律法

由光电效应的规律可知,最小频率 $\nu_0=\dfrac{w}{h}=\dfrac{2.21\times1.6\times10^{-19}}{6.63\times10^{-34}}=5.3\times10^{14}\text{HZ}$,又由光电效应方程 $E_k=h\dfrac{c}{\lambda}-w$ 得最大动能有 $4.4\times10^{-19}\text{J}$

【答案】 B

例8 物理学家做了一个有趣的实验:在双缝干涉实验中,在光屏处放上照相底片,若减弱光的强度,使光子只能一个一个地通过狭缝. 实验结果表明:如果曝光时间不太长,底片上只能

出现一些不规则的点子;如果曝光时间足够长,底片上就会出现规则的干涉条纹,对这个实验结果的认识中正确的是(　　)

A. 单个光子通过双缝后的落点仍然有规律可循

B. 曝光时间不太长时,出现一些不规则的点子,表现出光的波动性

C. 干涉条纹中明亮的部分是光子到达几率多的地方

D. 只有大量光子的行为才能表现出光的粒子性

【巧解】 规律法

从微观上看,个别光子与物质相互作用时,表现为粒子性,单个光子通过双缝后,其落点不可能唯一确定,但在宏观上大量光子在通过双缝后,就有了规律,表现为波动性.

【答案】 C

例9 (2005·江苏卷)在中子衍射技术中,常利用热中子研究晶体的结构,因为热中子的德布罗意波长与晶体中原子间距相近,已知中子质量 $m=1.67\times10^{-27}$kg,普朗克常量 $h=6.63\times10^{-34}$J·S,可以估算德布罗意波长 $\lambda=1.82\times10^{-10}$m 的热中子动能的数量级为(　　)

A. 10^{-17}J　　B. 10^{-19}J　　C. 10^{-21}J　　D. 10^{-24}J

【巧解】 估算法

由德布罗意波长公式 $\lambda=\frac{h}{p}$ 得 $p=\frac{h}{\lambda}$,又由 $E_k=\frac{p^2}{2m}=\frac{h^2}{2m\lambda^2}$ $=\frac{(6.63\times10^{-34})^2}{2\times1.67\times10^{-27}\times(1.82\times10^{-10})^2}$ 因是估算其数量级,所以我们只计算数量级即可,可得 10^{-21}.

【答案】 C

例10 (2005·天津理综)现用电子显微镜观测线度为 d 的某生物大分子的结构,为满足测量要求,将显微镜工作时电子的德布罗意波长设定为 $\frac{d}{n}$,其中 $n>1$,已知普朗克常量 h,电子质量 m 和电子电荷量 e,电子的初速度不计,则显微镜工作时电子的加速电压应为(　　)

更多资料干货 关注微信公众号 学习第一线 赠送5000G学习大礼包

A. $\frac{n^2h^2}{med^2}$　　B. $(\frac{md^2h^2}{n^2e^3})^{\frac{1}{3}}$

C. $\frac{d^2h^2}{2men^2}$　　D. $\frac{n^2h^2}{2med^2}$

【巧解】 综合法

由德布罗意波长 $\lambda=\frac{h}{p}$ 得:$\frac{d}{n}=\frac{h}{mv}$　　①

设电子经电压 U 加速,则 $eU=\frac{1}{2}mv^2$　　②

又由 $P=\sqrt{2mE_k}$　　③

由②③式可得 $mv=\sqrt{2meU}$ 代入①式　整理得:$U=\frac{n^2h^2}{2med^2}$

【答案】 D

例11 氢原子吸收一定频率的光子后,则(　　)

A. 电子动能增加,原子电势能增加,原子总能量增大

B. 电子动能减小,原子电势能增加,原子总能量增大

C. 电子动能增大,原子电势能减小,原子总能量增大

D. 电子动能不变,原子电势能增加,原子总能量增大

【巧解】 类比法

氢原子核外电子绕原子核运动可以和宏观上人造地球卫星绕地球运动相类比,建立同样的模型.氢原子吸收光子后向高能级跃迁,半径 r 增大,所以电子的动能减小,原子电势能增加,总能量增大.

【答案】 B

例12 欲使处于基态的氢原激发,下列措施可行的是(　　)

A. 用10.2ev的光子照射

B. 用11ev的光子照射

C. 用14ev的光子照射

D. 用11ev的电子碰撞

【巧解】 规律法

10.2ev 正好是 $n=1$ 和 $n=2$ 的两能级之差,所以可以吸收10.2ev的光子而跃迁;又由光子的能量是不可再分的,11ev不是氢原子基态与任一激发态的能量之差,所以不能吸收.而电子能量可以再分,即氢原子可以吸收11ev的电子的10.2ev的能量跃迁到 $n=2$ 能级上,所以11ev的电子可以使氢原子激发;而14ev的光子足以使氢原子电离,所以也可以吸收.

【答案】 A、C、D

例13 (全国高考题)按照玻尔理论,下列关于氢原子的论述正确的是(　　)

A. 第 m 个定态和第 n 个定态的轨道半径 r_m 和 r_n 之比为 $r_m:r_n=m^2:n^2$

B. 第 m 个定态和第 n 个定态的能量 E_m 和 E_n 之比为 $E_m:E_n=n^2:m^2$

C. 电子沿某一轨道绕核运动,若其圆周运动的频率是 ν,则其发光频率也是 ν

D. 若氢原子处于能量为 E 的定态,则其发光频率为 $\nu=\frac{E}{h}$

【巧解】 分析推理法

由玻尔理论可知:氢原子的半径公式 $r_n=n^2r_1$,所以 $r_m:r_n=m^2:n^2$.

氢原子的能量公式 $E_n=\frac{E_1}{n^2}$,所以 $E_m:E_n=n^2:m^2$

又氢原子处于某一定态时,电子沿某一轨道运动是处于一种稳定状态,不向外发射光子,只有跃迁到低能级时,才发出光子.

【答案】 A、B

例14 (2004·北京理综)氦原子被电离一个核外电子,形成类氢结构的氦离子,已知基态的氦离子能量为 $E_1=-54.4$ev,氦离子能级的示意图如图5所示,在具有下列能量的光子中,不能被基态氦离子吸收而发生跃迁的是(　　)

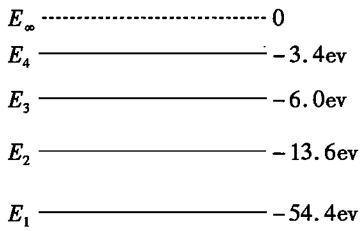


图 5

A. 40.8ev　　B. 43.2ev　　C. 51.0ev　　D. 54.4ev

【巧解】 迁移法

将氢原子的跃迁规律迁移到本题情景中来，便可顺利求解. 由氢原子从基态跃迁到高能级时，只能吸收能量等于两个能级差的光子，可得 43.2ev 不能被基态的氦离子吸收.

【答案】 B

例 15 (2002 · 广东)处于基态的一群氢原子受某种单色光的照射只发射波长为 λ_1、λ_2、λ_3 的三种单色光，且 $\lambda_1 > \lambda_2 > \lambda_3$，则照射光的波长为(　　)

A. λ_1　　B. $\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3$

C. $\dfrac{\lambda_2\lambda_3}{\lambda_2 + \lambda_3}$　　D. $\dfrac{\lambda_1\lambda_2}{\lambda_1 + \lambda_2}$

【巧解】 排除法

当量子数 $n=3$ 时，原子可发出 3 种不同波长的光子，如图 6 所示，因 λ_3 最小，可知这种光子的频率 ν_3 最大，即基态时吸收光子的频率也是 ν_3，相应的波长为 λ_3. 因此排除 A 项，B、C 项中都含有 λ_3，但都不可能等于 λ_3，故均能排除，最后只剩下 D 项.

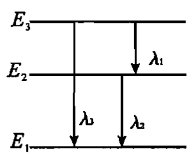


图 6

更多资料干货 关注微信公众号 学习第一线 赠送5000G学习大礼包

【答案】 D

例 16 (2004 · 全国理综)现有 1200 个氢原子被激发到量子数为 4 的能级上，若这些受激氢原子最后都回到基态，则在此过程中发出的光子总数是多少？假定处在量子数为 n 的激发态的氢原子跃迁到各较低能级的原子数都是处在该激发态能级上的原子总数的 $\dfrac{1}{n-1}$.(　　)

A. 2200　　B. 2000　　C. 1200　　D. 2400

【巧解】 穷举法

由题意可知：量子数为 4 的能级上 1200 个氢原子，被激发到量子数为 3、2、1 的能级上，个数都是 $\dfrac{1}{4-1} \times 1200 = 400$ 个，此过程共有 1200 个原子跃迁，放出 1200 个光子；量子数为 3 的能级上有 400 个原子又被激发到 2 和 1 的能级上，个数都是 $\dfrac{1}{3-1} \times 400 = 200$ 个，此过程有 400 个原子跃迁，放出 400 个光子；现在量子数为 2 的能级上共有 400 + 200 个原子，又被激发到量子数为 1 的能级上，放出 600 个光子，所以总共有 1200 + 400 + 600 = 2200 个光子放出.

【答案】 A

例 17 (2003 · 江苏)原子从一个能级跃迁到一个较低能级时，有可能不发射光子，例如在某种条件下，铬原子从 $n=2$ 能级上的电子跃迁到 $n=1$ 能级上时并不发射光子，而是将相应的能量转交给 $n=4$ 能级上的电子，使之能脱离原子，这一现象叫做俄歇效应，从这种方式脱离原子的电子叫做俄歇电子. 已知铬原子的能级公式可简化为 $E_n = -\dfrac{A}{n^2}$，式中 $n=1,2,3\cdots\cdots$ 表示不同的能级，A 是正的已知常数，上述俄歇电子的动能是(　　)

A. $\dfrac{3}{16}A$　　B. $\dfrac{7}{16}A$　　C. $\dfrac{11}{16}A$　　D. $\dfrac{13}{16}A$

【巧解】 迁移法　能量守恒法

由题意可得：铬原子 $n=2$ 的能级 $E_2 = -\dfrac{A}{2^2} = -\dfrac{A}{4}$，$n=1$ 的能级 $E_1 = -A$，电子从 $n=2$ 能级跃迁到 $n=1$ 的能级释放的能量 $\triangle E = E_2 - E_1 = \dfrac{3}{4}A$.

又铬原子 $n=4$ 的能级 $E_4 = -\dfrac{A}{4^2} = -\dfrac{A}{16}$，当其跃迁到无穷远能级($E_\infty = 0$)，即此时电子脱离原子需要吸收 $\dfrac{A}{16}$ 的能量. 由能量守恒可得：

$E_k = \triangle E - (-E_4) = \dfrac{11}{16}A$

【答案】 C

例 18 玻尔在氢原子能级假说中，给出了电子绕核做匀速圆周运动的轨道半径量子化公式 $r_n = n^2 r_1$ ($n=1,2,3\cdots\cdots$)，其中 r_1 是电子处于基态的轨道半径，r_n 是量子数为 n 的电子轨道半径. 请你由库仑定律和牛顿运动定律推导：量子数为 n 时电子的动能 $E_n = \dfrac{E_1}{n^2}$. E_1 是电子处于基态时电子的动能.

【巧解】 推理法

电子所受原子核的库仑力提供向心力，设电子质量为 m，在量子数为 n 的轨道上的速率为 V_n，则 $K\dfrac{e^2}{r_n^2} = m\dfrac{V_n^2}{r_n}$①

$E_n = \dfrac{1}{2}mv_n^2$②

由①、②式可得，当 $n=1$ 时　$E_1 = \dfrac{ke^2}{2r_1}$③

又由 $r_n = n^2 r_1$ 和①②③式可得：$E_n = \dfrac{ke^2}{2n^2 r_1} = \dfrac{E_1}{n^2}$

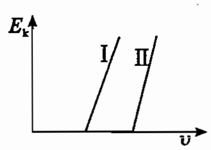
【答案】 见分析.

第二十一章　波粒二象性综合测试

一、选择题(4 分×12＝48 分)

1. 光电效应的四条规律中,波动说不能解释的有(　　)
   A. 入射光的频率必须大于被照金属的极限频率时才能产生光电效应
   B. 光电子的最大初动能与入射光强度无关,只随入射光频率的增大而增大
   C. 入射光照射到金属上时,光电子的发射几乎是瞬时的,一般不超过 10^{-9}s
   D. 当入射光频率大于极限频率时,光电流强度与入射光强度成正比

2. 如右图所示是两种金属的光电子的最大初动能与入射光频率的关系图线,从图中可以看出(　　)



   A. 金属Ⅰ的逸出功比金属Ⅱ的逸出功小
   B. 同一色光照射下,金属Ⅰ发射的光电子的最大初速度比金属Ⅱ发射的光电子的最大初速度大
   C. 要获得相等的最大初速度的光电子,照射金属Ⅰ的光的频率比照射金属Ⅱ的大
   D. 无论换用什么金属做实验,图线的斜率不变

3. 用很弱的光做双缝干涉实验,把入射光减弱到可以认为光源和感光胶片之间不可能同时有两个光子,比较不同曝光时间摄得的照片,发现曝光时间不长的情况下,照片上是一些散乱的无规则分布的亮点,若曝光时间较长,照片上亮点分布区域呈现出不均匀迹象;若曝光时间足够长,照片上获得清晰的双缝干涉条纹,这个实验说明了(　　)

更多资料干货 关注微信公众号 学习第一线 赠送5000G学习大礼包

   A. 光具有粒子性
   B. 光具有波动性
   C. 光既具有粒子性,又具有波动性
   D. 光的波动性不是光子之间的相互作用引起的

4. 光具有波粒二象性,正确的理解是(　　)
   A. 光波不是宏观世界中的机械波,粒子也不是宏观世界中的弹性小球
   B. 个别光子的运动表现出粒子性,大量光子表现出波动性
   C. 光是波浪式运动着的大量物质微粒
   D. 光的强度大小影响着光的二象性的表现,强度大的红光要比强度小的紫光的粒子性强些

5. 氢原子从激发态跃迁到基态时,则核外电子的(　　)
   A. 电势能减小,动能减小,周期变大
   B. 电势能减小,动能变大,周期变小
   C. 电势能的减小值小于动能的增加值
   D. 电势能的减小值等于动能的增加值

6. 某激光源的发光功率为 P,发射激光的波长为 λ. 当该激光照射到折射率为 n 的介质中时,由于反射,其能量减小了 10%,介质中激光束的直径为 d,那么在介质中单位时间内通过与激光束垂直的截面上单位面积的光子数为(　　)
   A. $\frac{3.6P\lambda}{\pi d^2 hc}$　　B. $\frac{3.6P\lambda}{\pi d^2 nhc}$　　C. $\frac{0.9P\lambda}{hc}$　　D. $\frac{3.6P\lambda}{hc}$

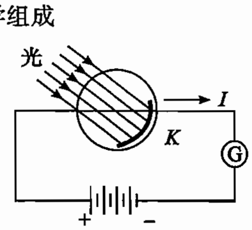
7. 某种金属的逸出功为 2.3eV,这意味着(　　)
   A. 这种金属内部的电子克服原子引力做 2.3eV 的功即可脱离原子束缚
   B. 这种金属表层的电子克服原子引力做 2.3eV 的功即可脱离原子束缚
   C. 要使这种金属有电子逸出,入射光子的能量必须大于 2.3eV
   D. 这种金属受到光照时若有电子逸出,则电子离开金属表面时的动能至少等于 2.3eV

8. 关于光电管,下列说法中正确的是(　　)
   A. 光电管能把电信号转变为光信号
   B. 光电管能把光信号转变为电信号
   C. 光电管能放大光信号
   D. 光电管工作时阳极电势低于阴极电势

9. 用能量为 12.3eV 的光子去照射一群处于基态的氢原子,氢原子中绕核运动的电子(　　)
   A. 能跃迁到 $n=2$ 的轨道上去
   B. 能跃迁到 $n=3$ 的轨道上去
   C. 能跃迁到 $n=4$ 的轨道上去
   D. 不能跃迁到其他轨道上去

10. 关于光谱和光谱分析,下列说法中正确的是(　　)
    A. 太阳光谱和白炽灯光谱都是连续光谱
    B. 霓红灯和煤气灯火焰中燃烧的钠蒸气产生的光谱都是明线光谱
    C. 进行光谱分析时,只能用明线光谱
    D. 观察月光,可以确定月亮的化学组成

11. 如下图所示,关于光电效应下列说法中正确的是(　　)



    A. 对于任何一种金属都存在着一个"最大波长",入射光的波长必须小于这个波长才能发生光电效应
    B. 用不可见光照射金属时,比用可见光照射同种金属产生的光电子的最大初动能一定大一些
    C. 当发生光电效应时,光电子的最大初动能与入射光的频率成正比
    D. 光电流的强度与入射光强度无关

12. 下列说法正确的是(　　)

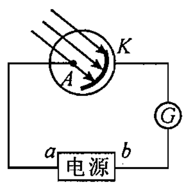
A. 光的波粒二象性学说是由牛顿的微粒说与惠更斯的波动说组成的

B. 光的波粒二象性学说彻底推翻了麦克斯韦的光的电磁说

C. 光子说并没有否定光的电磁说，在光子能量上 $E=h\nu$ 中，频率 ν 表示波的特征，E 表示粒子的特征

D. 光波不同于宏观概念中那种连续的波，它是表明大量光子运动规律的一种几率波

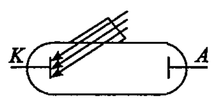
二、填空题(每小题4分，共20分)



13. 右图为光电管的工作电路，则图中电源的正极为________(填 a 或 b)，若使这种光电管产生光电效应的入射光的最大波长为 λ，则能使光电管工作的入射光光子的最小能量为________.

14. 氢原子的电子在第一条轨道上运动，其能量为 $E_1=-13.6$ eV. 若氢原子的电子从第三条轨道上跃迁到第二条轨道上时，放出的光子的频率为________，电子的动能为________，原子的势能为________，总能量为________.

15. 光电效应的规律是：(1)任何一种金属都有一个________频率，入射光的频率必须________这个频率，才能产生光电效应；(2)光电子的最大初动能与________无关，只随着________的增大而增大；(3)入射光照射到金属上时，光电子的发射几乎是________，一般不超过________；(4)产生光电效应时，光电流的强度与________成正比.



16. 在光电效应实验中，当用光子能量 $E=3.1$eV 的单色光照射阴极 K 时，如右图，产生电流. 若 K 极接正，A 极接负，当两极间电压为 0.9V 时，光电流恰好截止，那么当 A 极接正，K 极接负，电压仍为 0.9V 时的光电子达到 A 极的最大动能 $E_k=$________eV，此金属的逸出功 $W=$________eV.

更多资料干货 关注微信公众号 学习第一线 赠送5000G学习大礼包

17. 已知人眼瞳孔的直径为 d，当一秒钟内有 N 个波长为 λ 的光子进入瞳孔时，就能引起视觉，若辐射功率为 P 的点光源，能发出波长为 λ 的光，则此光源能被人眼看到的最大距离是________.

三、计算题(共32分)

18. (10分)一光电管的阴极用极限波长 $\lambda_0=5000\times10^{-8}$ m 的钠制成. 用波长 $\lambda=3000\times10^{-8}$ m 的紫外线照射阴极，光电管阳极 A 和阴极 K 之间的电势差 $U=2.1$V，光电流的饱和值 $I=0.56\mu$A.

(1)求每秒内由 K 极发射的电子数.

(2)求电子到达 A 极时的最大动能.

(3)如果电势差 U 不变，而照射光的强度增到原值的3倍，此时电子到达 A 极时的最大动能是多大?

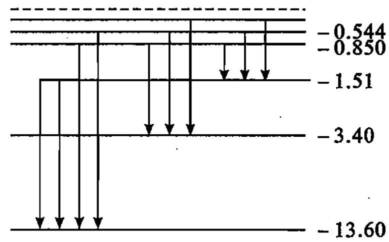
(普朗克常量 $h=6.63\times10^{-34}$ J·s，电子电量 $e=1.60\times10^{-19}$ C，真空中的光速 $c=3.00\times10^{8}$ m/s)

19. (10分)氢原子能级图如下图所示，由能级图求：

(1)如果有很多氢原子处于 $n=3$ 的能级，在原子回到基态时，可能产生哪几种跃迁? 出现几种不同光谱线?

(2)如果用动能为11eV的外来电子去激发处于基态的氢原子，可使氢原子激发到哪一个能级上?

(3)如果用能量为11eV的外来光子去激发处于基态的氢原子，结果又如何?



20. (12分)1951年，物理学家发现了"电子偶"，所谓的"电子偶"就是由一个负电子和一个正电子绕它们的质量中心旋转形成的相对稳定的系统，已知正、负电子的质量均为 m_e，电量均为 e，普朗克常数为 h，光速 c，静电力常量为 k.

假设"电子偶"中，正、负电子绕它们质量中心做匀速圆周运动的轨道半径 r、运动速度 v 及电子的质量满足玻尔的轨道量子化理论：$2mvr=nh/2\pi$，$n=1,2\cdots$，"电子偶"的能量为正负电子运动的动能和系统的电势能之和，两正负电子相距为 L 时系统的电势能为 $E=\frac{-ke^2}{L}$. 试求：

(1)$n=1$ 时"电子偶"的能量；

(2)"电子偶"由第一激发态跃迁到基态发出光子的波长为多大?

第二十二章

原子核

难点巧学

一、原子的核式结构

利用α粒子散射实验现象巧学原子的核式结构.

α粒子散射实验现象的解释巧用"两边夹"确定α粒子的曲线运动情况,从动力学的角度确定合外力F与速度、轨迹之间的关系.

例1　(2003·上海卷)卢瑟福通过________实验,发现了原子中间有一个很小的核,并由此提出了原子的核式结构模型.下面平面示意图中的四条线表示α粒子运动的可能轨迹,在图1A中完成中间两条α粒子的运动轨迹.

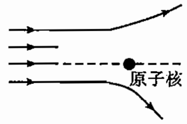


图1A

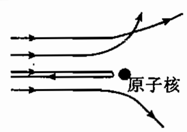


图1B

【巧解】　"两边夹"确定α粒子的曲线运动情况.如图1B

二、衰变和核反应

利用守恒法巧学衰变和核反应方程.

1. 如果经过了多次α、β衰变,先巧抓β衰变质量数不变这一特点.

更多资料干货 关注微信公众号 学习第一线 赠送5000G学习大礼包

2. 如果在磁场中衰变,巧用动量守恒.如果在磁场中放出α粒子,则轨迹为外切圆.如果在磁场中放出β粒子,则轨迹为内切圆.

3. 巧记如果反应后质量亏损,则一定是放能反应.

例2　(全国高考卷)最近几年原子科学家们在超重元素岛的探测方面取得重大进展.1996年科学家们在研究某两个锂离子结合成超重元素的反应时,发现生成的超重元素的核$^{A}_{Z}X$经过6次α衰变后的产物是$^{253}_{100}Fm$.由此可以判定生成超重元素的原子序数和质量数分别是(　　)

A. 124,529　B. 124,265　C. 112,265　D. 112,277

【巧解】　守恒法

根据题意可写出核反应方程

$^{A}_{Z}X \to ^{253}_{100}Fm + 6^{4}_{2}He$

由质量数守恒,有 $A = 253 + 6\times4 = 277$

由电荷数守恒,有 $Z = 100 + 6\times2 = 112$　　可见D对.

活题巧解

例1　(2003·上海)在核反应方程$^{4}_{2}He + ^{14}_{7}N \to ^{17}_{8}O + (X)$的括弧中X所代表的粒子为(　　)

A. $^{1}_{1}H$　B. $^{2}_{1}H$　C. $^{0}_{-1}e$　D. $^{1}_{0}n$

【巧解】　守恒法

根据核反应时质量数,核电荷数守恒可得X为$^{1}_{1}H$,所以答案A正确

例2　(2010全国Ⅰ卷)原子核$^{238}_{92}U$经放射性衰变①变为原子核$^{234}_{90}Th$,继而经放射性衰变②变为原子核$^{234}_{91}Pa$,再经放射性衰变③变为原子核$^{234}_{92}U$.放射性衰变①、②和③依次为(　　)

A. α衰变、β衰变和β衰变

B. β衰变、α衰变和β衰变

C. β衰变、β衰变和α衰变

D. α衰变、β衰变和α衰变

【巧解】　守恒法

本题涉及的三个衰变方程如下,期望读者通过认真观察,体会两个守恒定律的实质.

$^{238}_{92}U \to ^{234}_{90}Th + ^{4}_{2}He$

$^{234}_{90}Th \to ^{234}_{91}Pa + ^{0}_{-1}e$

$^{234}_{91}Pa \to ^{234}_{92}U + ^{0}_{-1}e$

【答案】　A

例3　(2010广东卷)关于核衰变和核反应的类型,下列表述正确的有(　　)

A. $^{238}_{92}U \to ^{234}_{90}Th + ^{4}_{2}He$是$\alpha$衰变

B. $^{14}_{7}N + ^{4}_{2}He \to ^{17}_{8}O + ^{1}_{1}H$是$\beta$衰变

C. $^{2}_{1}H + ^{3}_{1}H \to ^{4}_{2}He + ^{1}_{0}n$是轻核聚变

D. $^{82}_{34}Se \to ^{82}_{36}Kr ^{4}_{2}He + 2^{0}_{-1}e$是重核裂变

【巧解】　特征法

辨析反应类型问题的基本依据是明晰各类核反应的基本特征.

核衰变方程:反应物只有一个原子核;产物中有$^{4}_{2}He$就是α衰变,产物中有$^{0}_{-1}e$就是β衰变.

核聚变方程:依据核聚变的原理,似乎只要两个原子核接触到一起,就可以发生聚变,放出能量,然而天文观测和天体物理理论研究表明核聚变链终止于铁元素(因为铁有特别稳定的核结构,合成比铁更重元素的核聚变实际上要消耗能量而不是释放能量).高中物理涉及到的核聚变方程通常是氢原子核(氘和氚)结合成氦的原子核,同时放出巨大的能量.

核裂变方程:只有一些质量非常大的原子核像铀、钍等才能发生核裂变,这些原子的原子核在吸收一个中子以后会分裂成两个或更多个质量较小的中等质量的原子核,同时放出二个到三个中子.

原子核的人工转变方程:用快速粒子(天然射线或人工加速的粒子)穿入原子核的内部使原子核转变为另一种原子核的过程,这就是原子核的人工转变.质子和中子的发现都是基于原子核的人工转变这一途径.

【答案】　AC

例4　(2003·全国理综新课程卷)K^-介子衰变方程为$K^- \to \pi^- + \pi^0$.其中K^-介子和π^-介子带负的基元电荷,π^0介子不带电,一个K^-介子沿垂直于磁场的方向射入匀强磁场中,其轨迹为圆弧AP,衰变后产生的π^-介子的轨迹为圆弧PB,两轨迹在P点相切,它们的半径之比为2:1如图2所示,π^0介子的轨

迹未画出，由此可知 π^- 的动量的大小与 π^0 动量的大小之比为(　　)

A. 1:1　　B. 1:2　　C. 1:3　　D. 1:6

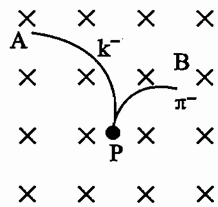


图 2

【巧解】 (动量)守恒法

根据 $qvB=\frac{mv^2}{r}$ 有 $r=\frac{mv}{qB}\propto P$，所以 $\frac{P_{K^-}}{P_{\pi^-}}=\frac{2}{1}$，又根据动量守恒定律，得 $P_{k^-}=-P_{\pi^-}=P_{\pi^0}$，所以 $P_{\pi^-}:P_{\pi^0}=1:3$.

例5 (2003·上海)若氢原子的核外电子绕核做半径为 r 的匀速圆周运动，则其角速度 $\omega=$(　　)；电子绕核的运动可等效为环形电流，则电子运动的等效电流 $I=$(　　).(已知电子的质量为 m，电量为 e，静电力常量用 k 表示)

【巧解】 模型法

电子绕核做匀速圆周运动的向心力由库仑力来提供，根据牛顿第二定律得 $k\frac{e^2}{r^2}=m\omega^2r$，所以 $\omega=\frac{e}{r}\sqrt{\frac{k}{mr}}$. 电子绕核的等效环形电流为 $I=\frac{q}{t}=\frac{e}{T}=\frac{e^2}{2\pi r}\sqrt{\frac{k}{mr}}$.

例6 (2005 上海卷)卢瑟福通过实验首次实现了原子核的人工转变，核反应方程为 ${}_4^1He+{}_7^{14}N\rightarrow{}_8^{17}O+{}_1^1H$. 下列说法中正确的是(　　)

A. 通过此实验发现了质子

B. 实验中利用了放射源出放的 γ 射线

C. 实验中利用了放射源放出的 α 射线

D. 原子核在人工转变过程中，电荷数可能不守恒

【巧解】 观察法

A 项考查的是物理学史知识，应该识记；

更多资料干货 关注微信公众号 学习第一线 赠送5000G学习大礼包

B、C 两项可以通过观察核反应方程解决；

C 项的依据是所有核反应都遵循质量数守恒和电荷数守恒

【答案】 AC

例7 (2004·广东、广西)中子 n、质子 P 氘核 D 的质量分别为 m_n、m_p、m_D. 现用光子能量为 E 的 γ 射线照射静止氘核使之分解，反应方程为 $\gamma+D=p+n$. 若分解后的中子、质子的动能可视为相等，则中子的动能为(　　)

A. $\frac{1}{2}[(m_D-m_p-m_n)c^2-E]$

B. $\frac{1}{2}[(m_p+m_n-m_D)c^2+E]$

C. $\frac{1}{2}[(m_D-m_p-m_n)c^2+E]$

D. $\frac{1}{2}[(m_p+m_n-m_D)c^2-E]$

【巧解】 守恒法

根据能量守恒可知 $E+m_Dc^2=2E_k+m_pc^2+m_nc^2$，$E+\Delta mc^2=2E_k$，其中 $\Delta m=m_D-m_p-m_c$，得 $E_k=\frac{1}{2}(E+\Delta mc^2)$，即 $E_k=\frac{1}{2}[(m_D-m_p-m_n)c^2+E]$，故 C 选项正确.

例8 ${}_{90}^{232}Th$(钍)经过一系列 α 和 β 衰变，变成 ${}_{82}^{208}pb$(铅)，下列说法正确的是(　　)

A. 铅核比钍核少 8 个质子

B. 铅核比钍核少 16 个中子

C. 共经过 4 次 α 衰变和 6 次 β 衰变

D. 共经过 6 次 α 衰变和 4 次 β 衰变

【巧解】 (质量数和电荷数)守恒法

由于衰变不会引起质量数的减少，故可先根据质量数的减少确定 α 衰变的次数为 $x=\frac{232-208}{4}=6$. 再结合电荷数的变化情况和衰变规律来判定 β 衰变的的次数 y 应满足 $2x-y=90-82=8$，所以 $y=2x-8=4$，即答案 ABD 是正确的.

例9 (2003·春季高考)下面是一核反应方程 ${}_1^2H+{}_1^3H\rightarrow{}_2^4He+x$ 用 C 表示光速，则(　　)

A. X 是质子，核反应放出的能量等于质子质量乘 c^2

B. X 是中子，核反应放出的能量等于中子质量乘 c^2

C. X 是质子，核反应放出的能量等于氚核与氚核的质量和减去氚核与质子的质量和再乘 c^2

D. X 是中子，核反应放出的能量等于氚核与氚核的质量和减去氚核与质子的质量和再乘 c^2

【巧解】 (质量数　电荷数和能量)守恒法

由质量数守恒可知，X 质量数为 1，电荷数为 O，利用质能方程可知，D 正确.

例10 (2008·四川)下列说法正确的是(　　)

A. γ 射线在电场和磁场中都不会发生偏转

B. β 射线比 α 射线更容易使气体电离

C. 太阳辐射的能量主要来源于重核裂变

D. 核反应堆产生的能量来自轻核聚变

【巧解】 推理法

γ 射线不显电性，α 射线比 β 射线更容易使气体电离，太阳辐射的能量主要来源于轻核聚变.

【答案】 A

例11 在下列四个方程中 X_1、X_2、X_3、X_4 各代表某种粒子，(1) ${}_{92}^{235}U+{}_0^1n\rightarrow{}_{38}^{95}Sr+{}_{54}^{138}Xe+3X_1$　(2) ${}_1^2H+X_2\rightarrow{}_2^3He+{}_0^1n$　(3) ${}_{92}^{238}U\rightarrow{}_{30}^{234}Th+X_3$　(4) ${}_{12}^{24}Mg+{}_2^4He\rightarrow{}_{12}^{27}Al+X_4$ 以下判断正确的是(　　)

A. X_1 是中子　　B. X_2 是质子

C. X_3 是 α 粒子　　D. X_4 是氚核

【巧解】 (质量数　电荷数)守恒法

由质量数、电荷数守恒可知：X_1 是中子，X_2 是氚核、X_3 是 α 粒子、X_4 不存在. 故选 A、C.

例12 A、B 两原子核静止在同一匀强磁场中，一个放出 α 粒子，另一个放出 β 粒子，运动方向均与磁场垂直，他们在磁场中的运动径迹及两个反冲核的运动径迹如图所示. 则可以判定径迹________是 α 粒子的，径迹________是 β 粒子的.

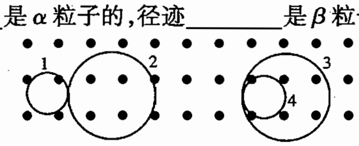


图 3

【巧解】 守恒法

答案：2　3. 左图两圆外切，则反冲粒子带同种电荷，右图两圆为内切圆，粒子带异种电荷，而原子核带正电，由 $r=\frac{mv}{qB}$ 知，α、β 粒子电量小于新核电量，故径迹 2 是 α 粒子，径迹 3 为 β 粒子.

例13 (全国春季高考题)云室处在磁感应强度为 B 的匀强磁场中，一静止的质量为 M 的原子核在云室中发生一次 α 衰

变，α 粒子的质量为 m，电量为 q，其运动轨迹在与磁场垂直的平面内，现测得粒子运动的轨道半径为 R，试求在衰变过程中的质量亏损（注：涉及动量问题时，亏损的质量可忽略不计）

【巧解】　模型法　守恒法

设核衰变产生的 α 粒子的速度为 v，则有 $qvB=M\frac{v^2}{R}$

用 v' 表示衰变后剩余核的速度，则由动量守恒定律有 $mv-(M-m)v'=0$.

在衰变过程中，α 粒子和剩余核的动能来自核反应过程中所释放的核能，由质能方程 $\Delta E=\Delta mc^2$ 和能量守恒定律

$\Delta mc^2=\frac{1}{2}mv^2+\frac{1}{2}(M-m)v'^2$ 结合以上方程可解得

$$\Delta m=\frac{M(qBR)^2}{2c^2m(M-m)}.$$

例 14　1923 年康普顿研究 X 射线经物质散射的实验，进一步证实了爱因斯坦的光子概念. 康普顿让一束 X 射线投射到一块石墨上发生散射，测定不同散射方向上 X 射线的波长情况. 结果在散射的各个方向上测到了波长比原来更长的 X 射线. 这种改变波长的散射实验被称为康普顿效应. 试用光子的概念和能量守恒的概念解释这种波长变长的现象.

【巧解】　模型法　守恒法

X 射线投射到石墨上，X 射线的光子和石墨中的实物粒子（如自由电子、原子等）发生碰撞，碰撞后，光子将沿某一方向散射，同时把一部分能量传给实物粒子，根据能量守恒的原理，散射光子的能量就比入射光子的能量低，根据光子理论，光子能量 $E=h\nu$，所以散射光的频率比入射光的频率小，即散射光的波长较长.

例 15　（全国高考题）假设在 NaCl 蒸气中存在自由钠离子 Na^+ 和氯离子 Cl^- 靠静电相互作用构成的单个氯化钠 NaCl 分子，若取 Na^+ 与 Cl^- 相距无限远时其电势能为零，一个 NaCl 分子的电势能为 -6.1eV，已知使一个中性钠原子 Na 最外层的电子脱离钠原子而形成钠离子 Na^+ 所需的能量（电离能）为 5.1eV，使一个中性氯原子 Cl 结合一个电子形成氯离子 Cl^- 所放出的能量（亲和能）为 3.8eV. 由此可算出. 在将一个 NaCl 分子分解成彼此远离的中性钠原子 Na 和中性氯原子 Cl 的过程中，外界供给的总能等于________eV.

【巧解】　守恒法

一个 NaCl 分子分解成彼此远离的中性钠原子 Na 和中性氯原子 Cl 的过程，可以分为两个阶段：①NaCl 分子克服相互间的静电引力，相距无限远程无独立的钠离子和氯离子 Cl^-. 根据"一个 NaCl 分子的电势能为 6.1eV"可知，此过程可吸收 6.1eV 的能量. ②钠离子 Na^+ 吸收一个电子变成中性钠原子 Na，与 Na 电离成 Na^+ 的过程相反，故放出能量 5.1eV；Cl^- 释放一个电子变成中性氯原子 Cl，与 Cl 形成 Cl^- 的过程相反，故吸收 3.8eV 的能量. 综上所述，在整个过程中，共吸收能量 $(6.1+3.8)$eV $=9.9$eV，放出能量 5.1ev，所以外界供给的总能量为 4.8eV.

例 16　两个氘核聚变产生一个中子和氦核（氦的同位素）. 已知氘核的质量 $m_D=2.01360u$，氦核的质量 $m_{He}=3.0150u$，中子的质量 $m_n=1.0087u$.

（1）写出聚变方程并计算释放的核能.

（2）若反应前两个氘核的动能为 0.35Mev. 它们正面对撞发生聚变，且反应后释放的核能全部转化为动能，则产生的氦核和中子的动能各为多大？

【巧解】　守恒法

（1）聚变的核反应方程：$2{}_1^2H\rightarrow{}_2^3He+{}_0^1n$

核反应过程中的质量亏损为

$$\Delta m=2m_D-(m_{He}+m_n)=0.0035u$$

释放的核能为 $\Delta E=\Delta mc^2=0.0035uc^2=3.26$Mev

（2）对撞过程动量守恒，由于反应前两氘核动能相同，其动量等值反向，因此反应前后系统的动量为 0. 即 $0=m_{He}v_{He}+m_nv_H$，

反应前后总能量守恒，得 $\frac{1}{2}m_{He}v_{He}^2+\frac{1}{2}m_nv_H^2=\Delta E+2E_{k0}$，

解之，$E_{kHe}=0.99$Mev，$E_{kn}=2.97$Mev.

例 17　（全国高考题）太阳现正处于主序星演化阶段. 它主要是由电子和 ${}_1^1H$、${}_2^4He$ 等原子核组成. 维持太阳辐射的是它内部的核聚变反应，核反应方程是 $2{}_{-1}^{0}e+4{}_1^1H\rightarrow{}_2^4He+$ 释放的核能，这些核能最后转化为辐射能. 根据目前关于恒星演化的理论，若由于聚变反应而使太阳中的 ${}_1^1H$ 核数目从现有数减少 10%，太阳将离开主序星阶段而转入红巨星的演化阶段. 为了简化，假定目前太阳全部由电子和 ${}_1^1H$ 核组成.

（1）为了研究太阳演化进程，需知道目前太阳的质量 M. 已知地球半径 $R=6.4\times10^6$m，地球质量 $m=6.0\times10^{24}$kg，日地中心的距离 $r=1.5\times10^{11}$m，地球表面处的重力加速度 $g=10m/s^2$，1 年约为 3.2×10^7 秒，试估算目前太阳的质量 M.

（2）已知质子质量 $m_p=1.6726\times10^{-27}$kg，${}_2^4He$ 质量 $m_\alpha=6.6458\times10^{-27}$kg，电子质量 $m_e=0.9\times10^{-30}$kg，光速 $c=3\times10^8$ m/s. 求每发生一次题中所述的核聚变反应所释放的核能.

（3）又知地球上与太阳垂直的每平方米截面上，每秒通过的太阳辐射能 $w=1.35\times10^3W/m^2$. 试估算太阳继续保持在主序星阶段还有多少年的寿命.（估算结果只要求一位有效数字.）

【巧解】　守恒法

（1）要估算太阳的质量 M，研究绕太阳运动的任一颗行星的公转均可，现取地球为研究对象. 设 T 为地球绕日圆周运动的周期，则由万有引力定律和牛顿定律可知

$$G\frac{mM}{r^2}=m(\frac{2\pi}{T})^2r \quad ①$$

地球表面处的重力加速度　$g=G\frac{m}{R_2}$　②

得　$M=m(\frac{2\pi}{T})^2\frac{r^3}{R^2g}$　③

以题给数值代入，得 $M=2\times10^{30}$kg　④

（2）根据质量亏损和质能公式，该核反应每发生一次释放的核能为　$\Delta E=(4m_p+2m_e-m_\alpha)c^2$　⑤

代入数值，得　$\Delta E=4.2\times10^{-12}$J　⑥

（3）根据题给假设，在太阳继续保持在主序星阶段的时间内，发生题中所述的核聚变反应的次数为　$N=\frac{M}{4m_p}\times10\%$　⑦

因此，太阳总共辐射出的能量为　$E=N\cdot\Delta E$

设太阳辐射是各向同性的，则每秒内太阳向外放出的辐射能为　$\varepsilon=4\pi r^2w$　⑧

所以太阳继续保持在主星序的时间为　$t=\frac{E}{\varepsilon}$　⑨

由以上各式解得　$t=\frac{0.1M(4m_p+2m_e-m_\alpha)c^2}{4m_p\times4\pi r^2w}$

以题给数据代入，并以年为单位，可得

$t=1\times10^{10}$ 年 $=1$ 百亿年　⑩

参考答案

第一部分　高中物理活题巧解方法总论

一、整体法

巧练 1：①斜面体斜面光滑，A、B 两物体沿斜面下滑时具有共同加速度 $a=g\sin\alpha$，加速度方向沿斜面向下，将加速度分解，水平方向分量为 $a_1=g\sin\alpha\cos\alpha$，竖直方向分量为 $a_2=g\sin^2\alpha$

将 A、B 及斜面体看成一个整体，在竖直方向及水平方向上，由牛顿第二定律得

$Mg+2mg-F_N=M\times0+2ma_2$

化简可得 $F_N=Mg+2mg\cos^2\alpha$

$f=M\times0+2ma_1$

化简可得 $f=2mg\sin\alpha\cos\alpha$

②若斜面体不是光滑的，物体 A、B 一起沿斜面匀速下滑时，同样将 A、B 及斜面体看成一个整体，在竖直方向及水平方向上合力均为 0，故有 $F_N=Mg+2mg$，$f=0$

答案：①$F_N=Mg+2mg\cos^2\alpha$；$f=2mg\sin\alpha\cos\alpha$．②$F_N=Mg+2mg$，$f=0$

巧练 2：如图 1－7 所示，带电小滑块先从 A 点向右减速运动，因 $\mu mg<Eq$，故当减速到零后，小滑块便反向加速，直到与 MN 墙发生碰撞，因碰撞时无能量损失，故碰撞后小滑块以碰前速率弹回而向右运动；当减速到零后，又反向加速，再次与墙发生碰撞．因整个过程中要不断克服摩擦力做功，能量不断损失，小滑块最终会停在墙角处．

取滑块的整个运动过程为对象，由动能定理得

$W_合=W_电+W_摩=Eqd-\mu mgs=0-(mv_0^2)/2$

化简可得：$s=\dfrac{2Eqd+mv_0^2}{2\mu mg}$

答案：$s=\dfrac{2Eqd+mv_0^2}{2\mu mg}$

二、隔离法

巧练 1：如图 2－6 所示，设木块与球间的弹力大小为 F_1，弹力方向与水平面的夹角为 θ，则有

$\cos\theta=\dfrac{\sqrt{R^2-(R-h)^2}}{R}$；$\sin\theta=\dfrac{R-h}{R}$

更多资料干货 关注微信公众号 学习第一线 赠送5000G学习大礼包

以木块为对象，水平方向上合力为零有：$F_1\cos\theta-F=0$

以光滑球为对象，竖直方向上合力为零有：$F_1\sin\theta-G=0$

化简可得：$F=G\cot\theta=\dfrac{\sqrt{R^2-(R-h)^2}}{R-h}G$

答案：$F=\dfrac{\sqrt{R^2-(R-h)^2}}{R-h}G$

巧练 2：以 A 为对象，A 随转台一起匀速转动，合力必然提供向心力，即 B 对 A 的静摩擦力提供了向心力，方向时刻指向转轴．由牛顿第三定律可得：A 对 B 有摩擦力，方向时刻背离转轴．故 D 选项正确．

答案：D

三、力的合成法

巧练 1：杆对小球 A 的作用力有两个，一个是支持力 N，另一个是静摩擦力 f，故本题所求解的应该是这两个力的合力．由整体法，即 A、B、C 整体在竖直方向上合力为零可得：$N=3mg/2$；

设绳的拉力大小为 T，再由隔离法，由 A 在水平方向上合力为零可得：$f-T\cos60°=0$，由 C 在竖直方向上合力为零可得：$2T\cos30°-mg=0$，化简可得：$f=\dfrac{\sqrt{3}}{6}mg$，因 N 与 f 方向垂直，故可求两者的合力为 $\dfrac{\sqrt{21}}{3}mg$，答案 D 选项正确．

答案：D

巧练 2：将物体的重力分解为 $G_1=G\sin\theta$（沿斜面向下）及 $G_2=G\cos\theta$（沿垂直斜面向下），则在斜面平面内物体只受三个力作用：重力分量 G_1、外力 F 及滑动摩擦力 f．故由平衡条件及滑动摩擦力公式可得：$f=\sqrt{(G\sin\theta)^2+F^2}=\mu\cdot N=\mu\cdot G\cos\theta$ 代入数据可得 $\mu=\dfrac{\sqrt{6}}{3}$．答案 C 选项正确．

答案：C

四、力的分解法

巧练 1：设细绳与竖直方向的夹角为 θ，由小球水平方向上所受合力为零可得：$T\sin\theta=N$；而由小球竖直方向上所受合力为零可得：$T\cos\theta=mg$，改用较长的细绳后，θ 减小，故 T 减小，N 减小，故答案 C 选项正确．

答案：C

巧练 2：以结点 C 为对象，它受三个拉力而平衡，设绳 BC 的拉力为 T_B，绳 AC 的拉力为 T_A，下面绳的拉力为 $T(T=G)$．由结点 C 在水平方向上所受合力为零可得：$T_B\cos60°=T_A\cos30°$，即 $T_A=\dfrac{\sqrt{3}}{3}T_B$

当重物最重时，$T_B=100N$，$T_A=\dfrac{\sqrt{3}}{3}T_B=\dfrac{100\sqrt{3}}{3}N$，由结点 C 在竖直方向上合力为零可得：

重物的重力 $G=T_A\sin30°+T_B\sin60°=\dfrac{100\sqrt{3}}{3}\cdot\dfrac{1}{2}+100\cdot\dfrac{\sqrt{3}}{2}=\dfrac{200\sqrt{3}}{3}N$，答案 D 正确．

答案：D

五、力的正交分解法

巧练 1：沿斜面方向及垂直斜面方向建立直角坐标系，将外力 F、重力 G 分解，由平衡条件可得：

沿斜面方向有：$G\sin\theta-F\cos\theta-f=0$；沿垂直斜面方向有：$G\cos\theta+F\sin\theta-N=0$；

而 $f=\mu N$，代入数据化简可得：$f=28N$；$\mu=14/27=0.52$

答案：$\mu=0.52$　$f=28N$

巧练 2：由整体法可知，P、Q 系统竖直方向合力为零有：$N=2mg$（不变）；设绳与水平方向的夹角为 θ，绳的拉力大小为 T，则以 Q 环为对象，竖直方向合力为零有：$T\sin\theta=mg$；而以 P 环为对象，水平方向上合力为零有：$f=T\cos\theta$；P 向左移，θ 增大，T 减小，故 f 减小，答案 B 正确．

答案：B

六、加速度分解法

巧练：人随电梯一起加速运动，将人的加速度 a 分解为：竖直向上的分加速度 $a_1=a\sin\theta$ 以及水平向左的分加速度 $a_2=a\cos\theta$；

竖直方向上由牛顿第二定律得：$N-mg=ma_1$，化简可得 $N=m(g+a\sin\theta)$

水平方向上由牛顿第二定律得：$f=ma_2=ma\cos\theta$

答案：$N=m(g+a\sin\theta)$；$f=ma\cos\theta$

七、加速度合成法

巧练：设某一时刻绳与竖直方向的夹角为 β，则由机械能守恒可以求得该时刻的速度大小：

$mgL\cos\beta=\dfrac{1}{2}mv^2\Rightarrow v=\sqrt{2gL\cos\beta}$

该时刻的向心加速度 $a_1=\dfrac{v^2}{R}=\dfrac{v^2}{L}=2g\cos\beta$

该时刻的切向加速度 $a_2=\dfrac{mg\sin\beta}{m}=g\sin\beta$

该时刻的合加速度为 $a=\sqrt{a_1^2+a_2^2}=\sqrt{(2g\cos\beta)^2+(g\sin\beta)^2}=g\sqrt{1+3\cos^2\beta}$ 整个过程，β 值由 90°减为 0，故合加速度由 g 不断增大到 2g

答案：B、D

八、速度分解法

巧练 1：根据分运动与合运动的等时性，求时间可用沿垂直于河岸方向的分运动来求解．将船的速度理解为由沿河岸方向的分速度与沿垂直河岸方向的分速度合成．则沿垂直河岸方向的分速度大小为：

$v_1=v\sin\beta=2\sin30°=1m/s$；分运动时间为 $t_1=d/v_1=200/1=200s$

答案：200s

巧练 2：棒的端点 A 实际上是在绕转轴 O 做匀速度圆周运动，故其圆周运动的线速度（ωL）即是合速度．将这个速度沿竖直向上方向及水平向左方向分解，则其竖直向上的分速度应与平台上升速度相等，故有：$\omega L\sin\beta=v$，故角速度 $\omega=\dfrac{v}{L\sin\beta}$

答案：$\omega=\dfrac{v}{L\sin\beta}$

九、速度合成法

巧练 1：平抛运动由水平方向匀速与竖直方向自由落体两个分运动合成，3s 末水平方向速度为 $v_1=9.8m/s$，竖直方向速度为 $v_2=gt=3\times9.8=29.4m/s$，则末速度与水平方向的夹角 $\theta=\arctan\dfrac{v_2}{v_1}=\arctan3$

答案：$\theta = \arctan 3$

巧练2：当被撤去的力与初速在同一直线上时，物体做匀加或匀减速直线运动，当被撤去的力与初速不在同一直线上时，物体将做匀变曲线运动，撤去一个力后，合力不为零，不可能做匀速直线运动. 故答案选 A.

答案：A

十、图象法

巧练1：因 m_1 和 m_2 放在光滑水平面上，A、B 两物体所受合力即是弹簧的弹力. 故当 A 减速时（B 加速），弹簧一定处于压缩状态；当 A 加速时（B 减速），弹簧一定处于拉伸状态.

在 t_3 时刻，A 在加速，故弹簧处于拉伸状态，故 A 选项错误；进而 B 选项也错误；

A、B 系统从 $t=0$ 到 $t=t_1$ 过程，由动量守恒可得两物体的质量之比为 $m_1:m_2=1:2$，故 C 选项正确；

由动能公式可得 t_2 时刻 A 与 B 的动能之比为 $E_{k1}:E_{k2}=2:1$，故 D 选项错误.

答案：C

巧练2：小滑块在半球形碗内做周期性运动（设周期为 T_1），则小滑块对碗的压力也应随时间周期性变化（设周期为 T_2），则应有 $T_1=2T_2=2\times0.6=1.2\text{s}$，答案 A 选项错误；在 $t=0.8\text{s}$ 时刻，小滑块对碗的压力最大，故应正通过最低点，速度最大，故答案 B 选项也错误；在 $t=0.5\text{s}$ 时刻，小滑块对碗的压力最小，应正通过最高点，故答案 C 选项正确；从图象可看出小滑块对碗的最大压力不断减小，即通过最低点的速率不断减小，故机械能不断损耗，答案 D 选项错误.

答案：C

十一、补偿法

巧练：可把被挖去的小圆孔再补上，想像成没有挖去一样，由于小圆孔半径 $r \ll R$，所以小圆孔带电体可看成点电荷，原来处于球心 O 的点电荷 $+q$ 受力为零，可以认为是受到两个力作用：一个是被挖去的小圆孔带电体对 $+q$ 的作用力；另一个是挖去后剩余部分带电体对 $+q$ 的作用力，这两个力应等大反向. 小圆孔带电体对 $+q$ 的作用力大小为：$k\dfrac{\left[\dfrac{\pi r^2}{4\pi R^2}Q\right]\cdot q}{R^2}=k\dfrac{qQr^2}{4R^4}$，方向由小孔指向球心.

答案：$k\dfrac{qQr^2}{4R^4}$；由球心指向小孔

十二、微元法

更多资料干货 关注微信公众号 学习第一线 赠送5000G学习大礼包

巧练1：杆与物块的接触点是 v_B 与 v_A 的"联系点"，我们可以假设接触点处有一小滑环 C 固定在物块上. 如图 12－6－1 所示，当 OA 杆绕 O 轴转动一个很小的角度到达 OA'，可以看出环 C 是既绕 O 轴的转动（设转动瞬时线速度为 v_C）又沿杆子滑动，最后到达 B 点，因为转动的角度很小，可以认为 CC' 垂直 OA'，从直角三角形 $CC'B$ 得到，$v_C=v_B\sin\theta$. 同一根杆上各点的角速度相等：$\dfrac{v_C}{h/\sin\theta}=\dfrac{v_A}{l}=\omega$，故 $v_A=\dfrac{lv_B\sin^2\theta}{h}$

答案：$v_A=\dfrac{lv_B\sin^2\theta}{h}$

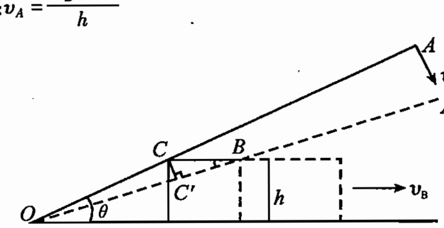


图 12－6－1

巧练2：要求出 v_B 这里的"联系物"是棒，根据微元法作出直角三角形 $AA'C$ 和 $BB'D$，分别得到如下两式：

$v_{棒}=v\sin\theta$　　①

$v_{棒}=v_B\cos\theta$　　②

故可得：$v_B=v\tan\theta$

答案：$v_B=v\tan\theta$

十三、对称法

巧练1：由于E 和 F 两点距离正负电荷距离相等且关于 O 点对称，故它们的电场强度相同，电势也相等. 即正确选项为 A.

巧练2：平衡时，如下图用 F_{T_1}、F_{T_2}、L_1、L_2 以及 θ_1、θ_2 分别表示两边绳的拉力、长度以及绳与水平面之间的夹角. 因为绳与滑轮之间的接触是光滑的，故有：$F_{T_1}=F_{T_2}=F_T$.

由水平方向的平衡可知：$F_T\cos\theta_1=F_T\cos\theta_2$，即 $\theta_1=\theta_2=\theta$

由题意与几何关系可知：$L_1+L_2=2s$（OA 距离设为 s）　①

$L_1\cos\theta+L_2\cos\theta=s$　　②

由①、②式得：$\cos\theta=1/2$　$\theta=60°$

由竖直方向力的平衡可知：$2F_T\sin\theta=mg$，

所以：$F_T=\dfrac{\sqrt{3}}{3}mg$

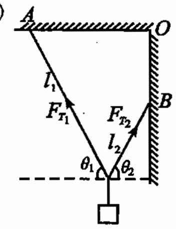


图7

点评：本题应注意隐含条件的挖掘，即同一段绳中各处的张力相同（不计重力），然后由对称性进行求解，此结论一定要记住.

巧练3：由于接地的金属板，是一个电势为零的等势面，这是点电荷与感应电荷电场的电势叠加的结果. 根据电偶极子连线的中垂面，也是一零势面，可见金属板上感应电荷的电场，与对称于 $+q$ 的负点电荷（$-q$）产生的电场等效. 感应电荷的电量为 $Q=-q$

点电荷与感应电荷的静电力为 $F=K\dfrac{Qq}{(2r)^2}=K\dfrac{q^2}{4r^2}$

十四、假设法

巧练1：滑片向 b 点移动时，电阻变大，假设滑到 b 点时电阻变为无限大，则总电流变为零，相当于电源断路，此时 U_1 值等于电源电动势 E，U_1 为最大；U_2 值等于零，U_2 为最小. 正确答案为 A.

巧练2：本题常规解法：先对 A 进行受力分析，再用牛顿第二定律求出上滑、下滑的加速度表达式，最后求出比值，得出答案. 这样做费时易错. 若用极端假设求解，则能迅速准确地排除错误选项，得出结果. 其步骤是：a）选参变量，做极端假设. 取 μ 为参变量，令其为最小值，即 $\mu=0$　b）进行极端分析. 在 $\mu=0$ 的情况下，A 上滑、下滑加速度应相等为：$g\sin\theta$，二者之比等于 1. 把此极端值 $\mu=0$ 代入所给选项中，发现（A）（C）（D）均不合要求，（B）却满足要求，故应选（B）

巧练3：当 F 作用在物体上时，物体所受外力沿斜面向下的分力为：$(F+mg)\sin\theta$ 假设物体下滑，则沿斜面向上的滑动摩擦力为：$\mu(F+mg)\cos\theta$

由 $\mu>\tan\theta$ 可得 $\mu(F+mg)\cos\theta>(F+mg)\sin\theta$

即物体所受的滑动摩擦力总大于物体沿斜面向下的分力，所以物体不会滑动，出现"自锁"现象.

巧练4：假定将冰块从盐水中取出后，而盐水不填补"盐水凹坑"，见图 14－7 中阴影部分. "盐水凹坑"的容积其实就是冰块排开盐水的体积 $V_{排}$. 设冰块全部熔化成水后的体积为 $V_{水}$. 若 $V_{水}=V_{排}$，则液面不变；若 $V_{水}>V_{排}$，则液面上升；若 $V_{水}<V_{排}$，则液面下降.

冰块漂浮在盐水面时，$m_{冰}g=\rho_{盐水}V_{排}g$

$V_{排}=m_{冰}/\rho_{盐水}$

因 $\rho_{盐水}>\rho_{水}$，所以 $V_{水}>V_{排}$. 这就是说，冰全部熔化成水后，除了能填平"盐水凹坑"外，还将多出部分水，使液面上升. 故答案应选 B.

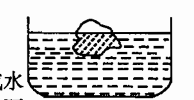


图 14－7

十五、临界条件法

巧练1：设将要被挤向船底的碎冰块受冰层对它的水平弹力为 F，船壁对它的垂直于船壁的弹力为 F_N，沿船向上的滑动摩擦力 F_f，由于碎冰块所受的重力与浮力的合力很小，可以忽略. 冰块受力如右图 15－6 所示，为使冰块被挤向船底，应使 F_N 与 F 的合力 $F_{合}$ 大于或等于 F_f，即 $F_N\tan\theta\geq F_f$

又由于 $F_f=\mu F_N$

所以 $\tan\theta\geq\mu$　$\theta\geq\arctan\mu$

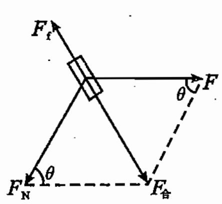


图 15－6

【答案】$\theta\geq\arctan\mu$

巧练2：设在此星球的赤道上有一质量为 m 的物体，它随星球自转时恰好不飞离星球. 由万有引力定律和牛顿定律列出方程：$\dfrac{GMm}{R^2}=m\left(\dfrac{2\pi}{T}\right)^2R$，解得 $T=2\pi\sqrt{\dfrac{R^3}{GM}}$　①

又因为星球的质量为 $M=\rho\dfrac{4}{3}\pi R^3$　②，将②代人①可得：$\rho=\dfrac{3\pi}{GT^2}=1.27\times10^{14}\,\text{kg/m}^3$

巧练3：刚能越过，存在这样的临界条件：m 的最大高度为 h，m 在水平方向的速度 v_x 等于 M 的速度. 由动量守恒和机械能守恒条件：

$mv_0=(M+m)v$　　①

$\dfrac{1}{2}mv_0^2=mgh+\dfrac{1}{2}(M+m)v^2$　　②

由①②可得：$v_0=\sqrt{2gh\dfrac{M+m}{M}}$　即滑块所需要的水平速度.

十六、动态分析法

巧练1:球重力 G 和两个支持力,三个力共点且合力为零.设斜面和挡板给球的弹力分别为 N_A 和 N_B.重力的大小和方向一定,N_A 的方向总垂直 AC 不变.G、N_A、N_B 构成力的封闭三角形,如图 16-2 所示,从图中可以明显看出,随着 β 角的减小,N_B 先变小后变大,当挡板垂直斜面时,N_B 有最小值,同时可以看出 N_A 逐渐减小,当 $\beta=0$ 时,$N_A=0$.∴ 选项 C 正确.

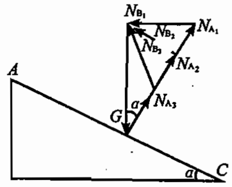


图 16-2

巧练2:D

十七、利用配方求极值法

巧练1:以平行斜面向下为 X 轴,垂直斜面向上为 y,则小球垂直斜面向上作初速度为 $v_0\sin\theta$ 加速度为 $g\cos\theta$ 的匀减速直线运动.

$h=v_0t\sin\theta-\frac{1}{2}gt^2\cos\theta$

配方得 $h=-\frac{1}{2}g\cos\theta(t-\frac{v_0}{g}\tan\theta)^2+\frac{v_0^2}{2g}\tan\theta\cdot\sin\theta$

即当 $t=\frac{v_0}{g}\tan\theta$ 时,小球离斜面的距离最大 $H=\frac{v_0^2}{2g}\tan\theta\cdot\sin\theta$

巧练2:设小球脱离滑槽开始做平抛运动的速度为 v_0,则由机械能守恒定律,有(以滑槽最低点为零势面)

$mgR=\frac{1}{2}mv_0^2$ 得 $v_0=\sqrt{2gR}$

小球做平抛运动的竖直高度为 $H-R$,由平抛规律有

$S=v_0t$ $H-R=\frac{1}{2}gt^2$

消去 t,得 $S=v_0\sqrt{\frac{2(H-R)}{g}}=\sqrt{4R(H-R)}=2\sqrt{\frac{H^2}{4}-(R-\frac{H}{2})^2}$

由上式可得 $R=\frac{H}{2}$ 时,S 有最大值为 H,选项 B 正确.

巧练3:当滑动变阻器 R 的滑片从 A 滑到 B 的某一位置时,把它的电阻分为 x 和 $R-x$ 两部分并联后与 L 串联在电路中,其中并联电阻为

$R_{并}=\frac{x(R-x)}{x+(R-x)}=\frac{x(R-x)}{R}$

更多资料关注微信公众号 学习第一线 赠送5000G学习大礼包

分子中 $x(R-x)=-x^2+Rx=-(x-\frac{R}{2})^2+\frac{R^2}{4}$

即当 $x=\frac{R}{2}$ 时,有最大值 $\frac{R^2}{4}$,这时 $R_{并}$ 最大为 $\frac{R}{4}$.

当滑片滑至 A 或 B 端时,$R_{并}=0$,滑片越靠近中点 $R_{并}$ 越大,因此流过 L 的电流变小,后又变大,故选项 C 正确.

十八、等效电源法

巧练1:将 R_1 看作电源的内阻,则当 $R_x=r_0+R_1$ 时,

R_x 获得最大功率.最大功率 $R_{x\,max}=\frac{E_0^2}{4(r_0+R_1)}$

若使 R_1 获得功率最大,则 $R_x=0$,最大功率 $R_{1\,max}=\frac{E_0^2}{(r_0+R_1)^2}R_1$

巧练2:在电路分析和计算中,等效电阻的应用大家较熟悉,但应用等效电源来简化电路分析,就比较容易忽视.本题若用此法,亦很简单.其思路是:引入等效电源的概念,把电池组 R_1、R_2 看作一等效电源 E'、r',如图 18-10 所示,则 AB 为等效电源的输出端,U_{AB} 为输出电压,可变电阻 R 为负载.根据闭合电路欧姆定律,当 R 增大时,U_{AB} 增大,I_R 减小,故选项 A 和 D 正确.

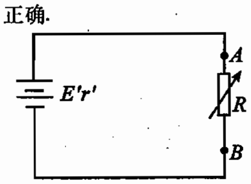


图 18-10

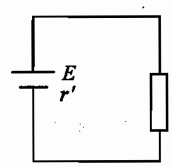


图 18-12

巧练3:将图所示的虚线框内电路看成新的电源,则等效电路如图 18-12 所示,电源的电动势为 E',内电阻为 r'.根据电学知识,新电路不改变 R_x 和 I_x 的对应关系,

有:$E'=I_{X1}(R_{X1}+r')$, ①

$E'=I_{X2}(R_{X2}+r')$, ②

$E'=I_{X3}(R_{X3}+r')$, ③

由①②两式,得 $E'=12V$,$r'=2\Omega$,代入③式,可得 $R_{X3}=118\Omega$

十九、相似三角形法

巧练1:[分析]探测器离开月球时受到月球的万有引力作用,方向相对月球竖直向下.

[巧解]探测器沿直线加速运动时,所受合力 $F_{合}$ 方向与运动方向相同,而重力方向竖直向下,由平行四边形定则知推力方向必须斜向上方,因此喷气方向斜向下方.匀速运动时,所受合力为零,因此推力方向必须竖直向上,喷气方向竖直向下.如图 19-5B 所示,选 C

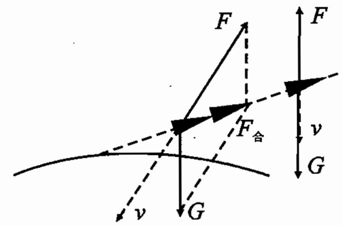


图 19-5B

巧练2:选取小环为研究对象,孤立它进行受力情况分析:小环受重力 mg、大圆环沿半径方向的支持力 N、弹簧对它的拉力 F 的作用,显然,

$F=k(2r\cos\varphi-L)$

用相似比法.若物体在三个力 F_1、F_2、F_3 作用下处于平衡状态,这三个力必组成首尾相连的三角形 F_1、F_2、F_3,如图 19-8 所示,题述中恰有三角形 AOm 与它相似,则必有对应边成比例.

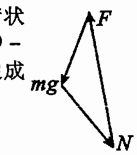


图 19-8

$\frac{F}{2r\cos\varphi}=\frac{mg}{r}=\frac{N}{r}$

$\varphi=\arccos\frac{kL}{2(kr-mg)}$

巧练3:设 PB 和 PQ 长为 L_1 和 L_2,且设 B 球的重力为 G,受到的拉力为 T,则小球 B 的受力如图 19-10 所示,又由于力的矢量三角形与几何三角形相似有:$\frac{G}{L_2}=\frac{T}{L_1}$ 即绳对 B 的拉力 $T=\frac{L_1}{L_2}G$ 为不变量.

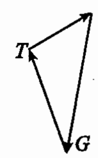


图 19-10

根据牛顿第三定律,悬线对 P 点的拉力大小不变,故选项 A 正确.

二十、矢量图解法

巧练1:木箱受重力 G.弹力 N.摩擦力 f 及拉力 F 四个力的作用,但此题也可以把木箱看作只受三个力作用,即重力 G.拉力 F 和摩擦力 f 与支持力 N 的合力 F',如图 20-8 所示,设 F' 与 N 的夹角为 φ,则 $\tan\varphi=\frac{f}{N}=\mu$,再应用矢量三角形求解.

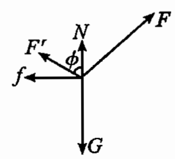


图 20-9

已知 G 的大小和方向,F' 的方向,显然,要使封闭的矢量三角形中 F 值最小,只有由 G 的端点作 F' 的作用线的垂线时,F 值最小,如图 20-9 所示,此时 F 的最小值为 $F_{min}=G\sin\varphi=\frac{G\mu}{\sqrt{1+\mu^2}}$

所以最小的拉力 F 与水平方向的夹角为 $\theta=\varphi=\arctan\mu$

巧练2:[巧解]做出 A、B 两物体在弹簧压缩到最短过程中的 V-t 图象,如图 20-11 所示,从图象上可直接观察到 A、D 正确.

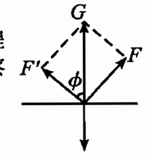


图 20-10

[答案]A、D

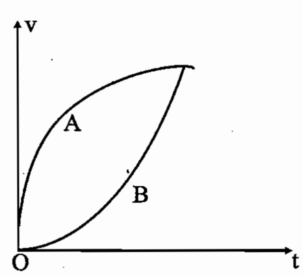


图 20-11

二十一、等效摆长法

巧练1:由于 AC 是一段很短的光滑圆弧轨道,且其所对圆心角小于5°,故将同

一小球先后从 C、D 两点由静止释放到达 A 点都可以看作是单摆的运动，即为 1/4 周期也就是 $t_1=t_2$，由机械能守恒定律可知 $v_1>v_2$，故答案为 C.

巧练 2：设每根轻绳的长度为 L，则小球在悬点 A、B 所在的竖直平面内摆动时，周期 $T_0=2\pi\sqrt{\frac{L}{g}}$，而该装置在月球表面，使小球在垂直 A、B 所在平面摆动时，摆长应为 $O'C$，在月球上小球的振动周期 $T'=2\pi\sqrt{\frac{\frac{3}{2}L}{\frac{1}{6}g}}=3T_0$

二十二、等效重力加速度法

巧练 1：电梯以加速度 a 匀减速上升，摆线的张力 $F=m(g-a)$，等效重力加速度 $g'=\frac{F}{m}=g-a$，故单摆做小角度振动的周期 $T=2\pi\sqrt{\frac{l}{g-a}}$

巧练 2：当摆球没有摆动时，摆线的张力 $F=mg\sin\theta$，等效重力加速度 $g'=\frac{F}{m}=g\sin\theta$ 则此摆的振动周期 $T=2\pi\sqrt{\frac{L}{g\sin\theta}}$

巧练 3：由于在光滑水平面上重力与支持力平衡，当摆球没有摆动时，摆线的张力 $F=Eq$，等效重力加速度 $g'=\frac{F}{m}=\frac{Eq}{m}$，则第一次回到平衡位置所需时间 $t=\frac{1}{2}T=\pi\sqrt{\frac{mL}{Eq}}$

二十三、特值法

巧练 1：取 $\Delta L=0$，则盘对物体的支持力等于静止时盘对物体的支持力 mg. 将 $\Delta L=0$ 代入上式等于 mg 只有 A 选项. 故选项 A 正确.

巧练 2：取 $n=2$，则人只需搬一块砖，让其重心升高 h. 将 $n=2$，代入上式做功 $W=mgh$ 只有 C 选项. 故人需要做的功 $W=mgh$，选项 C 正确.

巧练 3：取 $R_1=8\Omega, R_2=4\Omega, R_v=100\Omega$，则把电压表改接在 R_2 两端后，并联后电阻将小于 4Ω，则电压小于 4V. 选项 A 正确.

二十四、极值法

巧练 1：取 $M\to\infty$，可认为小车不动，由机械能守恒定律有，$mgh=\frac{1}{2}mv_0^2$ 则 $h=\frac{v_0^2}{2g}$，由上式有 $M+m\approx M$，代入上式等于 $\frac{v_0^2}{2g}$ 只有 B 选项，即选项 B 正确.

巧练 2：设把副线圈负载全部断开，则副线圈中的电流 $I_2=0$，原线圈中的电流 $I_1\approx0$，故 A 灯将非常暗，即 A 灯亮度将变暗.

二十五、守恒法

更多资料干货 关注微信公众号 学习第一线 赠送5000G学习大礼包

巧练 1：D. 本题遵守电荷守恒. 设 A、B 带同种电荷，C 与 A 接触后分别带 $Q/2$，C 再与 B 接触后分别带 $3Q/4$，这样 A、B 间的作用力变为 $3F/8$，D 选项正确；若设 A、B 带异种电荷，C 与 A 接触后分别带 $Q/2$，C 再与 B 接触先中和后再平分，分别带 $-Q/4$，这样 A、B 间的作用力变为 $-F/8$. 故答案中只有 D 正确.

巧练 2：本题遵守质量守恒、体积守恒. 体积不变，长度变为原来的 2 倍，则横截面积变为原来的 1/2，由电阻定律得电阻变为原来的 4 倍，其值为 16Ω；若对折使用，则长度为原来的 1/2，横截面积为原来的 2 倍，电阻为原来的 1/4，其值为 1Ω.

二十六、模型法

巧练 1：本题为平抛运动模型，第一次人推球做功使球动能增加，故有：$W=\frac{1}{2}mv_1^2$

再由平抛运动知识有：$h=\frac{1}{2}gt^2$ 以及 $s_1=v_1t$

第二次人推球做功使球及人的动能增加，故有：

$$W=\frac{1}{2}mv_2^2+\frac{1}{2}Mv_0^2$$

推球过程，人球系统水平方向动量守恒有：$mv_2=Mv_0$

再由平抛运动知识有：$h=\frac{1}{2}gt^2$ 以及 $s_2=(v_0+v_2)t$

化简可得：$s_2=\sqrt{\frac{M+m}{M}}s_1$

巧练 2：C. 本题为完全非弹性碰撞模型. 碰撞过程由动量守恒有：$mv_0=(m+M)v$ 木块受的冲量大小等于其动量的变化量：$I=\Delta p=mv=\frac{mMv_0}{m+M}$，故答案 C 正确.

二十七、模式法

巧练：本题属电路的动态分析，用模式法分析如下：

①电路结构为：R_1 与变阻器 R 的上部分串联再与变阻器 R 的下部分并联，最后再与 R_2 串联；

②P 向上移动时变阻器 R 的上部分阻值减小，并联总电阻先增大后减小，故整个电路的总电阻也先变大后变小；

③总电流先变小后变大；

④内电压先减小后增大；外电压先增大后减小；

⑤伏特表读数即为外电压，故 A、C 两选项中 C 选项正确.

当总电流减小时，R_2 上电压减小而外电压减小，故并联部分电压增大，而安培表所在分支的电阻减小，故安培表的示数增大；

当总电流增大时，R_2 上电压增大而外电压减小，故并联部分电压减小，而变阻器下部分电阻增大，故变阻器下部分所在分支的电流减小，故安培表的示数增大；故答案 B 正确.

二十八、转化法

巧练 1：B. 可以把问题转化为：求通电导线在运动过程中所受安培力. 在左端时磁感线斜向左下方穿过导线，由左手定则可知安培力斜向左上方，由牛顿第三定律可知，磁铁受导线斜向右下方的力作用，故摩擦力向左；同理可知，导线运动到右端时，磁铁受到的摩擦力向右. 故答案 B 正确.

巧练 2：B. 槽中的 P 点离最低点 O' 很近且槽光滑，A 球的运动等价于单摆的运动，故问题可转化为比较单摆的四分之一周期与自由落体运动时间的大小.

由 $t_A=\frac{1}{4}T=\frac{1}{4}\cdot2\pi\sqrt{\frac{R}{g}}=\frac{\pi}{2}\sqrt{\frac{R}{g}}$ 及 $t_B=\sqrt{\frac{2R}{g}}=\sqrt{2}\sqrt{\frac{R}{g}}$，显然 $t_A>t_B$，即 B 选项正确.

二十九、气体压强的参考液片法

巧练 1：B. 在 a 水银柱的最下端处选一参考液片，由受力平衡可得：

$P_0S=P_LS+PS$ （P_L 为水银柱产生的压强，S 为玻璃管的横截面积）

化简可得：$P=P_0-P_L=65cmHg$

巧练 2：B. 在水银柱的最下端处选一与管身垂直的参考液片（圆片）

由受力平衡可得：$P_0S=PS+P_LS$，解得 $P=P_0-L\sin\theta=70cmHg$（当 θ 为零时 $P=P_0$）

三十、气体压强的平衡法

巧练：A、D. 以两轻质活塞为研究对象，向上受下底面大气的压力 P_0S 及外力 F，向下受上底面大气的压力 P_0S 及弹力 $F_1=kx$，由受力平衡有：$F+PS=P_0S$，对于下面活塞：$kx+PS=P_0S$，故答案 D 正确；

以上面活塞为研究对象，由受力平衡有：$F+PS=P_0S$，故答案 D 正确.

三十一、气体压强的动力学法

巧练 1：B. 以管中水银柱为研究对象，其水平方向共受二个力作用，由牛顿第二定律得：$P_0S-PS=Ma$，化简可得：$P=P_0-Ma/S$

巧练 2：以管中水银柱为研究对象，其水平方向共受二个力作用，由牛顿第二定律得：$P_0S-PS=m\omega^2R=\rho SH\omega^2(L+H/2)$，化简可得：$P=P_0-\rho H\omega^2(L+H/2)$

三十二、平衡法（有收尾速度问题）

巧练：本题除了应分析出导线 a 与导线 b 的收尾速度关系外，还应该注意到导线 a 与导线 b 构成的系统动量不守恒.

导线 a 滑至水平导轨时的速度 $v_0=\sqrt{2gh}$；进入磁场后导线 a 受到向左的安培力而作减速运动，导线 b 受到向右的安培力而作加速运动.

设导线 a 与导线 b 的收尾速度分别为 v_a 和 v_b. 当回路的磁通量保持不变，导线 a 与导线 b 才达到收尾速度，其关系为

$2v_a=v_b$ ①

对导线 a，依据动量定理，有

$-F_a\Delta t=mv_a-mv_0$ ②

对导线 b，依据动量定理，有

$F_b\Delta t=mv_b-0$ ③

联立①②③，可得

$v_a=\frac{1}{5}v_0, v_b=\frac{2}{5}v_0$.

三十三、穷举法

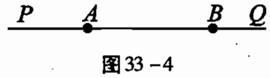


图 33－4

巧练 1：D. 电场方向可能由 A 指向 B 也可能由 B 指向 A，粒子可能带正电也可能带负电. 故速度可能增大也可能减小；周围空间电场线不明确，故 A、B 的场强大小关系不能确定，故加速度可能增大，与可能减小，也可能不变. 答案只有 D 正确.

巧练 2：B、D. 若初状态时变阻器的有效电阻 R 等于内阻 r，则左滑 R 增大，电源的输出功率减小；若初状态时变阻器的有效电阻 R 大于内阻 r，则左滑 R 增大，电源的输出功率减小；若初状态时变阻器的有效电阻 R 小于内阻 r，则左滑 R 增大，电源的输出功率先增大后减小.

三十四、通式法

巧练1:2. 在 y 轴正方向上任取一点 D,当 D 点到两声源 A、O 的路程差与波长满足下列关系式(通式)时,则 D 点为振动加强点:

$\Delta s=|s_{DA}-s_{DB}|=n\lambda=n$($n$ 为自然数)

由几何关系可得:$0<\Delta s<3m$

则 n 可取 1,2 二个值.

巧练2:15. 本题中 $n=6$,由通式得:$C_6^2=15$

三十五、逆向转换法

巧练1:正向思维通常是根据已知量去求待求量,本题可以用逆向转换法去寻找待求量与已知量的关系. 用下图表示:$a_{cd}\to F_{合}\to F_{安}\to I\to\varepsilon\to v_{ab}$. 因 ab 棒的速度已知,故可解.

cd 棒刚开始运动时,ab 棒的感应电动势

$E=BLv_1=0.5\times0.4\times5=1V$

回路产生的感应电流 $I=E/2R=\frac{1}{2\times0.5}A=1A$

cd 棒所受的安培力 $F_{安}=BIL=0.5\times1\times0.4N=0.2N$

cd 棒刚开始运动时的加速度 $a=F_{合}/m_2=F_{安}/m_2=0.2/0.1m/s^2=2m/s^2$

巧练2:D. 光从空气进入玻璃,不可能发生全反射,故在 EF 面上不可能.

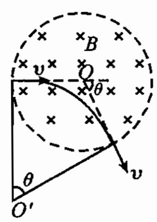
当入射角增大时,折射角增大,似乎有可能在 MN 面上发生全反射,但用逆向转换法思考:在 MN 面的最大入射角是否会大于临界角呢? 不可能. 因为在 EF 面上的入射角接近 90°度时,在 EF 面上的折射角最大,但小于临界角,故在 MN 面的入射角也小于临界角,故在 MN 面上也不可能. 答案 D 选项正确.

三十六、比例法

巧练1:根据初速度为"0"的匀加速直线运动在相邻相等时间段内的位移比为:s_1: s_2: $s_3=1$: 3: 5,且有 $s_1+s_2+s_3=h$,则 $\frac{s_1}{s_1+s_2+s_3}=\frac{1}{9}\Rightarrow s_1=\frac{1}{9}h=30m$

同理:$s_2=\frac{3}{9}h=90m$　　$s_3=\frac{5}{9}h=150m$

巧练2:电子在加速电场中有:$Ue=\frac{1}{2}mv^2$　①



电子在偏转磁场中,设偏角为 θ,由图示几何关系知:

$\tan\frac{\theta}{2}=\frac{R_0}{R}$　②

根据电子在磁场中的偏转半径有:$R=\frac{mv}{eB}$　③

更多资料干货 关注微信公众号 学习第一线 赠送5000G学习大礼包

由①②③可得:$\frac{R_0}{\tan\frac{\theta}{2}}=\frac{\sqrt{2meU}}{eB}$

所以 $\frac{\tan\frac{60°}{2}}{\tan\frac{90°}{2}}=\frac{\sqrt{1000}}{\sqrt{U}}\Rightarrow U=3000V$

三十七、推理法

巧练1:设质点完成第一段位移速度为 v_1,完成第二段位移速度为 v_2,……,完成第 n 段位移速度为 v_n,根据匀加速直线运动的规律可得出:

$v_1^2-v_0^2=2a\frac{s}{n}$

$v_2^2-v_1^2=2(a+\frac{a}{n})\frac{s}{n}$

$v_3^2-v_2^2=2(a+2\frac{a}{n})\frac{s}{n}$

……………………

$v_n^2-v_{n-1}^2=2[a+(n-1)\frac{a}{n}]\frac{s}{n}$

将上述 n 个公式两边相加得

$v_n^2-v_0^2=2as+\frac{2as}{n^2}[1+2+3+\cdots+(n-1)]$

故　$v_n=\sqrt{v_0^2+\frac{3n-1}{n}as}$

巧练2:只要车与竖直墙壁碰后,车就向左运动,由于惯性,小铁块将继续向右运动,则小铁块给车一个向右的摩擦力 $f=\mu mg$,根据牛顿第二定律车就会获得加速度:

$a=\frac{f}{M}=\frac{\mu mg}{M}=7.5m/s^2$

当第一次碰后,车向左运动到最远时,速度为零,所以车向左运动的最远距离为:

$s_1=\frac{v_0^2}{2a}$

在第二次碰前,根据动量守恒定律有:

$mv_0-Mv_0=(m+M)v_1\Rightarrow v_1=\frac{m-M}{m+M}v_0$

当第二次碰后,车向左运动到最远时,速度为零,所以车向左运动的最远距离为:

$s_2=\frac{v_1^2}{2a}=\frac{v_0^2}{2a}(\frac{m-M}{m+M})^2$,

在第二次碰前,根据动量定恒定律有:

$mv_1-Mv_1=(m+M)v_2\Rightarrow v_2=\frac{m-M}{m+M}v_1=(\frac{m-M}{m+M})^2v_0$

当第三次碰后,车向左运动到最远时,速度为零,所以车向左运动的最远距离为:

$s_3=\frac{v_2^2}{2a}=\frac{v_0^2}{2a}(\frac{m-M}{m+M})^4$,

依次类推,在第 n 次碰后,车向左运动到最远时,速度为零,所以车向左运动的最远距离为:

$s_n=\frac{v_0^2}{2a}(\frac{m-M}{m+M})^{2(n-1)}$,

所以车与墙壁碰后向左运动的最远距离是一个无穷等比数列,其公比

$q=(\frac{m-M}{m+M})^2=\frac{1}{25}$

故小车和墙壁第一次相碰后小车走的总路程为:

$s=2\frac{s_1}{1-q}=\frac{25}{12}s_1=\frac{25}{12}\cdot\frac{v_0^2}{2a}=1.25m$

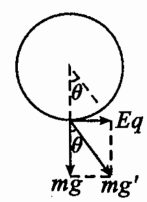
巧练3:由于带电摆球在匀强磁场中所受电场力为恒力,摆球重力也为恒力,故电场力与重力的合力也为恒力 F,我们把此合力看作视重力,根据摆球在电场力在电场中静止的位置可知,视重力加速度为

$g'=\frac{F}{m}=\frac{g}{\cos\theta}$

根据单摆周期公式,可知单摆在电场中做简谐振动的周期为

$T=2\pi\sqrt{\frac{L}{g'}}=2\pi\sqrt{\frac{L\cos\theta}{g}}$

巧练4:把珠子所受重力与电场力的合力看作视重,如图示,根据题设条件 $E_q=\frac{3}{4}mg$,可知 $\theta=37°$,则视重加速度:



$g'=\frac{g}{\cos\theta}=1.25g$

视重场中,在视重方向的最底点珠子就会获得最大动能,根据机械能守恒,有:

$E_k=mg'r(1-\cos\theta)=\frac{1}{4}mgr$

三十八、密度比值法

巧练1:拔开瓶塞,瓶内空气急速膨胀跑出来,这是一个近似的绝热膨胀过程,气体对外做功. 根据热力学第一定律,气体的内能一定减少,即温度迅速降低. 由于是在室温下拔开瓶塞的,所以瓶内气体的温度一定低于室温. 当瓶内外气体压强相等后,塞上瓶塞,立刻又出现了一个新的热力学过程,由于瓶内气温低于室温,过一段时间后,必将有热量从外界传向瓶内空气,使瓶内空气的温度升高,瓶内空气的压强也就随着温度的升高而增大. 所以,正确答案应为 B.

巧练2:BC. 根据气体的密度方程 $\frac{P_0}{\rho_0T_0}=\frac{P}{\rho T}\Rightarrow\frac{\rho}{\rho_0}=\frac{P}{T}/\frac{P_0}{T_0}$,则在 ab 过程,因 ab 的延长线通过原点 0,$\frac{P_a}{T_a}=\frac{P_b}{T_b}\Rightarrow\frac{\rho_b}{\rho_a}=1\Rightarrow$ 此过程密度不变;在 bc 过程,$\frac{P_b}{T_b}<\frac{P_c}{T_c}\Rightarrow\frac{\rho_c}{\rho_b}>1\Rightarrow$ 此过程密度增大;在 cd 过程,$\frac{P_d}{T_d}<\frac{P_c}{T_c}\Rightarrow\frac{\rho_d}{\rho_c}<1\Rightarrow$ 此过程密度减小;在 da 过程,$\frac{P_a}{T_a}<\frac{P_d}{T_d}\Rightarrow\frac{\rho_a}{\rho_d}>1\Rightarrow$ 此过程密度减小.

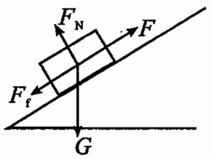
三十九、程序法

巧练1:A. 物体从 A 到 O 的运动过程,弹力方向向右,初始阶段弹力大于阻力,合力方向向右,随着物体向右运动,弹力逐渐减小,合力逐渐减小,由牛顿第二定律可知,此阶段物体的加速度向右且逐渐减小,由于加速度与速度同向,物体的速度逐渐增大,所以初始阶段物体向右做加速度逐渐减小的加速运动.

当物体向右运动至 AO 间某点(设为 O')时,弹力减小到等于阻力,物体所受合力为零,加速度为零,速度达到最大,此后,随着物体继续向

右移动,弹力继续减小,阻力大于弹力,合力方向变为向左,至 O 点时弹力减为零,此后弹力向左且逐渐增大,所以物体从 O' 点后的合力方向均向左且合力逐渐增大,由牛顿第二定律可知,此阶段物体的加速度向左且逐渐增大,由于加速度与速度反向,物体做加速度逐渐增大的减速运动,故 A 选项正确.

巧练 2:本题物体运动过程较为复杂,应分阶段进行过程分析,并找出各过程的相关量,从而将过程有机地串接在一起.



第一阶段:在最初 2s 内,物体在 $F=9.6$N 拉力作用下,从静止开始沿斜面做匀加速度运动,根据受力分析图可知:沿斜面方向:$F-mg\sin\theta-F_f=ma_1$ ①

沿 y 方向:$F_N=mg\cos\theta$ ②

且 $F_f=\mu F_N$ ③

由①②③得:$a_1=\dfrac{F-mg\sin\theta-\mu mg\cos\theta}{m}=2\text{m/s}^2$

2s 末绳断时瞬时速度 $v_1=a_1t_1=4$m/s

第二阶段:从绳子断后到物体继续沿斜面向上运动到达速度为零的过程,设加速度为 a_2,则:$a_2=\dfrac{-(mg\sin\theta+\mu mg\cos\theta)}{m}=-7.6\text{m/s}^2$

设从绳断到物体到达最高点所需时间为 t_2

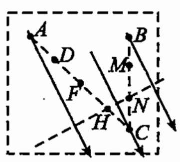
据运动学公式 $v_2=v_1+a_2t_2\Rightarrow t_2=\dfrac{0-v_1}{a_2}=0.53$s

第三阶段:物体从最高点沿斜面下滑,设第三阶段物体加速度为 a_3,所需时间为 t_3 因摩擦力方向,由牛顿第二定律可知:$a_3=g\sin\theta-\mu g\cos\theta=4.4\text{m/s}^2$,速度达到 $v_3=22$m/s,所需时间 $t_3=\dfrac{v_3-0}{a_3}=5$s

综上所述:从绳断到速度为 22m/s 所经历的总时间 $t=t_2+t_3=0.53\text{s}+5\text{s}=5.53$s

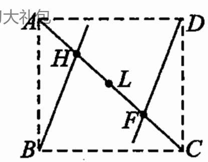
四十、等分法

巧练 1:因 $U_A=14$V,$U_B=9$V,$U_C=-6$V,所以 $U_{AC}=20$V,$U_{BC}=15$V,它们有公因数 5,则可 AC 等分成 4 等份,BC 等分成 3 等份,每一等份表示电势差为 5V,则 H、N 两点电势相等,连结 HN 构成等势线(如图).根据电场线与等势线垂直,从高电势指向低电势,可作出图示的电场线(带箭头的实线).



更多资料下载关注微信公众号:学习第一线,赠送1000G学习大礼包

巧练 2:根据电场力做功 $W=Uq$ 可得 $W_1=U_{AB}q$,代入数据有 $U_{AB}=5\text{V}=U_A-U_B\Rightarrow U_A=5$V;同理可得 $W_2=U_{AC}q$,代入数据有 $U_{AC}=20\text{V}=U_A-U_C\Rightarrow U_C=-15$V,因 $U_{AB}=5$V,$U_{AC}=20$V,所以可 AC 等分成 4 等份,易得 B、H 两点电势相等.根据匀强电场的性质 B、H 点连线应是等势线.由几何关系可知 $BH/\!/DF$,匀强电场中等势线相互平行,说明 DF 也是等势线,即 D、H 电势相等.又因为 F 是 AC 的四等分点,所以 $U_D=U_F=U_C+U_{FC}=U_C+\dfrac{U_{FC}}{4}=-15+\dfrac{20}{4}=-10$V



四十一、动态圆法

巧练 1:D. 粒子穿过铅板速度将减小,由 $R=\dfrac{mv}{qB}$ 可知 R 将减小,即粒子向上运动,则 D 选项正确;由左手定则联系向心力总指向圆心易确定粒子带正电.

巧练 2:设 a、b 的质量分别为 m_1 和 m_2,b 的速度为 v,a 静止,则有 $q_1E=m_1g$,b 在竖直平面内作匀速圆周运动,隐含着 $Eq_2=m_2g$,且满足 $Bq_2v=m_2\dfrac{v^2}{r}$,此时对 a 和 b 碰撞并粘合过程有 $m_2v+0=(m_1+m_2)v'$;a、b 合在一起后,总电量为 q_1+q_2,总质量为 m_1+m_2,仍满足 $(q_1+q_2)E=(m_1+m_2)g$,因此它们将以速率 v' 在竖直平面内以另一新的半径作匀速圆周运动,故有 $B(q_1+q_2)v'=(m_1+m_2)\dfrac{v'^2}{r'}$ 解得 $r'=\dfrac{q_2}{q_1+q_2}r$

四十二、放缩法

巧练 1:D. 物体在水平方向受水平推力和摩擦力,且摩擦力不变.所以在推力为 F 时有:

$$(F-f)s=\frac{1}{2}mv_0^2$$

在推力为 $F/2$ 时有:$(\dfrac{1}{2}F-f)s=\dfrac{1}{2}mv^2<(\dfrac{1}{2}F-\dfrac{1}{2}f)s=\dfrac{1}{2}\cdot\dfrac{1}{2}mv_0^2$

所以 $v^2<\dfrac{1}{2}v_0^2\Rightarrow v<\dfrac{\sqrt{2}}{2}v_0$

巧练 2:设经过时间 t,回路中电功率最大,此时 O 点到 AC 的距离为 $d=\dfrac{l}{2}-\dfrac{1}{2}at^2$ $\quad v=at$

此时 EF 的长度 L 为 $\dfrac{L/2}{d}=\tan60°\Rightarrow L=2d\tan60°=2\sqrt{3}d$

所以此时回路中感应电动势为

$$E=BvL=Bat\cdot2\sqrt{3}(\frac{l}{2}-\frac{1}{2}at^2)=\sqrt{3}Bat(l-at^2)$$

回路中的总电阻为 $R=r_0(L+2\times\dfrac{d}{\cos60°})=r_0(2+\sqrt{3})(l-at^2)$,则电功率为:$P=\dfrac{E^2}{R}=\dfrac{[\sqrt{3}Bat(l-at^2)]^2}{r_0(2+\sqrt{3})(l-at^2)}=\dfrac{3B^2a^2t^2(l-at^2)}{(2+\sqrt{3})r_0}$

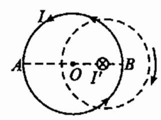
$$\leqslant\frac{3B^2a}{(2+\sqrt{3})r_0}\times[\frac{at^2+(l-at^2)}{2}]^2=\frac{3B^2l^2a}{4(2+\sqrt{3})r_0}$$

只有当 $at^2=l-at^2$,即 $t=\sqrt{\dfrac{l}{2a}}$ 时,P 才有最大值 $P_m=\dfrac{3B^2l^2a}{4(2+\sqrt{3})r_0}$,

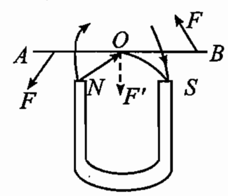
则此时 O 点到 AC 的距离为:$d=\dfrac{l}{2}-\dfrac{1}{2}at^2=\dfrac{l}{4}$

四十三、电流元法

巧练 1:C. 如图所示,以长直导线为圆心画圆,即磁感线并标明方向.磁感线与环形电流的两个交点处取两个电流元,两电流元关于直径 AB 对称,根据左手定则结合电流元的方向,可确定两电流元所受安培力方向相反,所以将以 AB 为轴转动,同时 A、B 中心左移.



巧练 2:D. 如图所示,把直线电流等效为 AO、BO 两段电流元,蹄形磁铁磁感线分布以及两段电流元受安培力的方向如图中的实线箭头所示.可见,从上往下看导线将逆时针转动.当导线转动之后,就将受到水平磁感线向下的安培力(如图中的虚线箭头所示),所以桌面的支持力将增大.



四十四、估算法

巧练:设地球质量为 M,地球半径为 R,地球表面的重力加速度为 g,忽略地球自转的影响,根据万有引力定律得:$g=G\dfrac{M}{R^2}$ ①

将地球看成均匀的球体:$V=\dfrac{4}{3}\pi R^3$ ②

由①②得地球的平均密度 $\rho=\dfrac{M}{V}=\dfrac{3g}{4\pi GR}$

上式中 π、g、R 和 G 均为常数.将它们的值代入可得:

$$\rho=\frac{3\times9.8}{4\times3.14\times6.67\times10^{-11}\times6.4\times10^6}=5.5\times10^3\text{kg/m}^3$$

四十五、节点电流守恒法

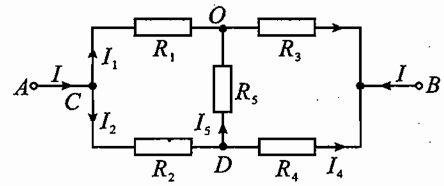
巧练 1:根据节点电流守恒如图:在节点 C 处有 $I=I_1+I_2$ ①

在节点 D 处有 $I_2=I_4+I_5$ ②

在节点 O 处有 $I_3=I_1+I_5$ ③

由对称性易得:$I_1=I_4$ ④

$I_2=I_3$ ⑤



从 ACO 看有:$I_1\cdot R_1=I_2R_2+I_5R_5$ 联系①②③④⑤式,并代入数据可得 $I_1=I_4=\dfrac{2}{5}I$ $\quad I_2=I_3=\dfrac{3}{5}I$

取 $ACOB$ 路径有:$U_{AB}=IR_{AB}=I_1\cdot R_1+I_3R_3=\dfrac{7}{5}IR$

所以 $R_{AB}=\dfrac{7}{5}R$

巧练 2:设电流 I 从 A 点流入立方体,从 G 点流出立方体.根据节点电流守恒有:$I=I_{AB}+I_{AD}+I_{AE}$ $\quad I_{AB}=I_{BC}+I_{BF}$ 根据电路的对称性可知:

$I_{AB}=I_{AD}=I_{AE}=I_{CG}=I_{FG}=I_{HG}=\dfrac{I}{3}$

$I_{BC}=I_{BF}=I_{DC}=I_{DH}=I_{EF}=I_{EH}=\frac{I_{AB}}{2}=\frac{I}{6}$

所以 $U_{AC}=U_{AB}+U_{BC}+U_{CG}\Rightarrow IR_{AC}=\frac{I}{3}r+\frac{I}{6}r+\frac{I}{3}r\Rightarrow R_{AC}=\frac{5}{6}r$

四十六、拉密定理法

巧练1:C. 因 OA 与 OB 拉力相等,根据拉密定理 OA 的对角与 OB 的对角应相等,即 $\angle AOm=\angle BOm=135°$,所以 $\alpha=15°$,则选 C.

巧练2:根据题意易是 AC 与 BC 夹角 $90°$,AC 与 GC 夹角 $150°$,GC 与 BC 夹角 $120°$,由拉密定理得:$\frac{G}{\sin90°}=\frac{F_{AC}}{\sin120°}=\frac{F_{BC}}{\sin150°}$

$\therefore F_{AC}=\frac{\sqrt{3}}{2}G=25\sqrt{3}N$

$F_{BC}=\frac{1}{2}G=25N$

四十七、代数法

巧练1:设这两个弹簧的劲度系数分别为 k_1、k_2,则串联悬挂一个 2N 的重物时有

$G_1=(\frac{1}{k_1}+\frac{1}{k_2})x_1$　代入数据得:$\frac{1}{k_1}+\frac{1}{k_2}=\frac{1}{4}$　①

并联悬挂一个 36N 的重物时有

$G_2=(k_1+k_2)x_2$　代入数据得:$k_1+k_2=18$　②

由此①②两式可得　$k_1k_2=72$

根据韦达定理,令 k_1、k_2 为一元二次方程的两个根,则有

$k^2-18k+72=0$

解得　$k_1=12N/cm,k_2=6N/cm$

巧练2:设 t_1、t_2 分别为物体前后两次过 $s=7m$ 的位置的时刻,则时间间隔 $\Delta t=t_2-t_1$,代入数据的方程:$3t^2-8t+2=0$　根据韦达定理得:

$t_1+t_2=\frac{8}{3}$　$t_1\cdot t_2=\frac{2}{3}$

所以:$\Delta t=t_2-t_1=\sqrt{(t_2-t_1)^2}$

$=\sqrt{(t_1+t_2)^2-4t_1\cdot t_2}=\sqrt{(\frac{8}{3})^2-4\times\frac{2}{3}}$

$=\frac{2}{3}\sqrt{10}s$

巧练3:设在 t 时间内,甲车运动的位移为 $s_{甲}$,乙车运动的位移为 $s_{乙}$,则:

更多资料干货 关注微信公众号 学习第一线 赠送5000G学习大礼包

$s_{甲}=\frac{1}{2}a_{甲}t^2$　$s_{乙}=v_{乙}t$

某一时刻两车相距 Δs,则:

$\Delta s=s_{乙}-s_{甲}=v_{乙}t-\frac{1}{2}a_{甲}t^2$

$=8t-\frac{1}{2}2t^2=8t-t^2$

$=-(t^2-8t+16)+16=-(t-4)^2+16$

所以,当 $t=4s$ 时两车相距最远,此时 $\Delta s=16m$

巧练4:设用电器的电阻为 R_0,根据全电路欧姆定律有:

$I=\frac{E}{R+r+R_0}=\frac{220}{11+R_0}$

用电器消耗的功率为:

$P=I^2R_0=(\frac{220}{11+R_0})^2R_0=\frac{220^2R_0}{(11+R_0)^2}$

$=\frac{220^2}{\frac{(R_0-11)^2}{R_0}+\frac{4\times11R_0}{R_0}}=\frac{220^2}{\frac{(R_0-11)^2}{R_0}+44}$

所以当用电器的电阻 $R_0=11\Omega$ 时,用电器获得最大的功率 $P_m=\frac{220^2}{44}=1100W$

巧练5:设 A 在斜面上运动的时间为 t_0,当 B 出发后经时间 t 后 A 追上 B,则可把 A 看成比 B 迟 t_0 时间从斜面底端出发做匀速运动,速度为 $gt_0\sin\theta$,当 B 出发时间 t 后两物体位移相等,由此可列出

$gt_0\sin\theta(t-t_0)=\frac{1}{2}at^2$

整理得　$at^2-2gt_0t\sin\theta+2gt_0^2\sin\theta=0$

要能追上,必须有　$\Delta=4g^2t_0^2\sin^2\theta-8gat_0^2\sin\theta\geqslant0$

即　$a\leqslant\frac{1}{2}g\sin\theta$

巧练6:金属杆运动后产生的感应电动势 $E_{感}=Blv$,回路中的电流由 E 与 $E_{感}$ 决定,由于 E 与 $E_{感}$ 在电路中反向,所以 $I=\frac{E-E_{感}}{R}=\frac{E-Blv}{R}$

当安培力 F 与摩擦力 f 相等时,金属杆的加速度为零,此时速度最大,故:

$B\frac{E-Blv_m}{R}l=f\Rightarrow l^2v_mB^2-ElB+fR=0$

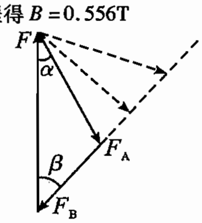
因 B 实际存在,所以应有 $\Delta\geqslant0$,即

$E^2l^2-4l^2v_mfR\geqslant0\Rightarrow v_m\leqslant\frac{E^2}{4fR}$

则最大速度　$v_m=\frac{E^2}{4fR}=\frac{6^2}{4\times0.1\times5}=18m/s$

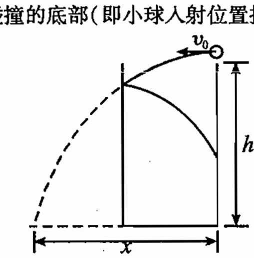
由此可得　$1.62B^2-1.8B+0.5=0$,解此方程得 $B=0.556T$

四十八、几何法



巧练1:O 点在三个力 F、F_A、F_B 的作用下位置不变,故三力必构成如图所示的矢量三角形. F 和 F_B 的方向保持不变,从图示可以看出,夹角 α 由图示位置逐渐增大时,F_B 将不断变大,F_A 先减小,后增大. 当 F_A 方向与 F_B 方向垂直时,F_A 最小.

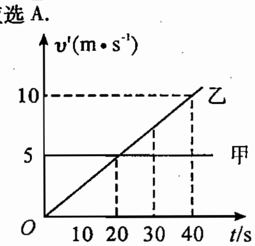
巧练2:因每次碰撞匀无速度损失,所以根据几何对称性可画出如图所示的虚线轨迹,即是说明小球运动的全过程可以用平抛运动来代替. 则 $h=\frac{1}{2}gt^2$,$x=v_0t$ 由以上两式可解得:$x=5m$,又因 $d=35cm$,所以 $x=14d+10cm$ 则说明按图示小球是左右各碰 7 次,最终落在离最后一次碰撞的底部(即小球入射位置投影)10cm 处.



第二部分　综合测试

第一章　匀变速直线运动的研究

1. D ［解析］ 加速度描述的是速度变化的快慢,加速度的大小是 Δv 与 Δt 的比值,并不只由 Δv 决定,故 B 错. 加速度大说明速度变化快,速度可能增大加快,也可能减小加快,或只是方向变化加快,故 A、C 错.
2. C ［解析］ 物体是否可视为质点,与物体的大小无关,故 A、B 错,研究物体的转动时,物体不能视为质点,故 D 错,C 正确.
3. C ［解析］ 设此时距地面高为 h_1,由自由落体规律得:$2gh=v_t^2$,$2g(h-h_1)=(\frac{v_t}{2})^2$ 可解得 $h_1=\frac{3}{4}h$;或由匀加速直线运动的规律知速度大小等于着地速度的一半时,正为运动的中间时刻,则此时下落的高度为 $\frac{1}{4}h$,故距地面为 $\frac{3}{4}h$,故 C 正确.
4. A ［解析］ 由表达式知:$v_0=10m/s$,$a=-10m/s^2$,故 A 正确,B 错误.
由运动学公式 $v_t=v_0=at$ 知 1s 末速度为零. 故 C 错误. 当 $t=12s$ 时,$s=10m/s\times12s-5m/s^2\times12^2s^2=-600m$. 即 12s 末质点在出发点西边 600m 处,D 错误.
5. A ［解析］ 因为,平均速度 $=\frac{位移}{时间}$,故三质点平均速度相同,故①正确. 平均速率 $=\frac{路程}{时间}$,故 A 的平均速率最大,所以②错误,④正确. 瞬时速率为某时刻速度的大小,已知条件不能判断,故③错误.
6. A ［解析］ 由下图可知,$t=20s$ 时,$v_{乙}=v_{甲}$,相距最远,故 A 错误,C 正确;$t=40s$ 时,$s_{甲}=s_{乙}$,二者相遇,故 B 正确,$t=30s$ 时,乙尚未追上甲,故 D 正确. 故应选 A.



7. B [解析] 人体的重心应在中部偏上,可假设重心高为1m,跳起可看作竖直上抛运动 $v_0^2=2gh$, $v_0=\sqrt{2gh}=\sqrt{2\times10\times(1.8-1)}=4\text{m/s}$,故选B.

8. B [解析] 初速为零的匀加速追赶同向匀速物体时,一定能追上,故①错误,汽车起动后速度由零逐渐增大,而自行车的速度是定值,当 $v_{汽}<v_{自}$ 时,二者距离越来越大,直到 $v_{汽}=v_{自}$ 时,二者距离最大,以后 $v_{汽}>v_{自}$,二者距离越来越小,直到相遇,故③正确.当 $\frac{1}{2}at^2=v_0t$,即 $t=\frac{2v_0}{a}$ 时,二者相遇,故④正确.取汽车为参考系,则自行车相对于汽车的加速度为 $-a$,初速为 v_0,故②正确.所以正确选项为B.

9. C [解析] 画出物体运动示意图,设物体在A、B、C点的即时速度分别为 v_A、v_B、v_C,根据匀变速直线运动的推论有:

$\frac{1}{2}(v_A+v_B)=\bar{v}_{AB}=3\text{m/s}$, $\frac{1}{2}(v_B+v_C)=\bar{v}_{BC}=6\text{m/s}$,

$\frac{v_B^2-v_A^2}{2a}=\frac{v_C^2-v_B^2}{2a}$.

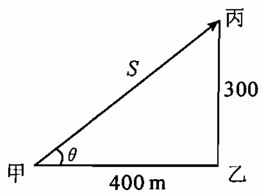
联立①②③解得: $v_B=5\text{m/s}$.

10. C [解析] 从图中可求下一木块匀速运动的速度 $v=4L/t$, L 为每格长度, t 为连续两次曝光的时间间隔,上一木块做匀加速直线运动, t_2、t_3、t_4、t_5 各时刻速度分别为 $v_2=5L/2t$, $v_3=7L/2t$, $v_4=9L/2t$, $v_5=11L/2t$,故C正确.

11. 700 500 东偏北37° [解析] 如下图所示: $s=\sqrt{400^2+300^2}\text{m}=500\text{m}$

$\tan\theta=\frac{300}{400}=\frac{3}{4}$

$\therefore\theta=37°$



12. 9 [解析] 由 $s=\frac{1}{2}at^2$,设每节车厢长 l,共有 n 节,则 $l=\frac{1}{2}\cdot a\cdot 2^2$, $nl=\frac{1}{2}\cdot a\cdot 6^2$,故 $n=9$.

更多资料干货 关注微信公众号学习第一线 赠送5000G学习大礼包

13. $(\sqrt{2}-1)\bar{v}_1$ [解析] 匀减速至停止的运动可看作反向匀加速运动处理.由初速为零的匀加速运动规律知上述运动两段时间之比为 $(\sqrt{2}-1):1$,设全程位移为 $2s$,则 $\bar{v}_2=\frac{s}{\frac{s}{\bar{v}_1}/(\sqrt{2}-1)}=(\sqrt{2}-1)\bar{v}_1$.

14. [答案] 限位孔 定位轴 上 低压交流 接线柱 接通电源

15. 1.5 2.25 [解析] 设物体的初速度为 v_0,加速度为 a,根据匀变速直线运动的速度公式 $v_t=v_0+a\cdot t$ 和位移与平均速度间关系 $s=\bar{v}t$ 得:

第1s末的速度为 $v_1=v_0+a\times1=v_0+a$,

第2s末的速度为 $v_2=v_0+a\times2=v_0+2a$,

第7s末的速度为 $v_7=v_0+a\times7=v_0+7a$,

第8s末的速度为 $v_8=v_0+a\times8=v_0+8a$,

在第2s内有:

$3=\frac{(v_0+a)+(v_0+2a)}{2}\times1=\frac{2v_0+3a}{2}$, ①

在第8s内有:

$12=\frac{(v_0+7a)+(v_0+8a)}{2}\times1=\frac{2v_0+15a}{2}$. ②

解①②式得: $v_0=0.75\text{m/s}$, $a=1.5\text{m/s}^2$.

则第1s末的速度为:2.25m/s.

16. 2 [解析] 由于两相邻间所用的时间为 $T=0.1\text{s}$(即 $5\times0.02=0.1\text{s}$).

且有 $s_{AB}=0.16\text{m}$, $s_{BC}=0.34-0.16=0.18(\text{m})$;

$s_{CD}=0.54-0.34=0.20(\text{m})$; $s_{DE}=0.76-0.54=0.22(\text{m})$.

$\Delta s=s_{BC}-s_{AB}=s_{CD}-s_{BC}=s_{DE}-s_{CD}=0.02(\text{m})$.

根据公式 $\Delta s=aT^2$ 得: $a=\frac{\Delta s}{T^2}=\frac{0.02}{0.1^2}=2\text{m/s}^2$.

17. [解析]设物体的加速度为 a,到达 A 点的速度为 v_0,通过 AB 段和 BC 段所用的时间为 t,则有 $l_1=v_0t+\frac{1}{2}at^2$ ①

$l_1+l_2=2v_0t+2at^2$ ②

联立①②式得

$l_2-l_1=at^2$ ③

$3l_1-l_2=2v_0t$ ④

设 O 与 A 的距离为 l,则有 $l=\frac{v_0^2}{2a}$ ⑤

联立③④⑤式得 $l=\frac{(3l_1-l_2)^2}{8(l_2-l_1)}$.

18. [解析] (1)指瞬时速度

(2)后车在反应时间内的位移为: $s=vt=\frac{120}{3.6}\times1\text{m}=\frac{100}{3}\text{m}$,则安全距离 $s'=3s=100\text{m}$.

19. [解析] 对小轿车,由位移关系知: $s_1=v_1t+\frac{1}{2}a_1t^2$.

即: $16=2t+\frac{1}{2}\times1\times t^2$.解得: $t=4\text{s}$.

对公共汽车,由位移关系知: $s_2=v_2t+\frac{1}{2}a_2t^2$,

即: $12=6\times4-\frac{1}{2}a\times4^2$.解得: $a=1.5\text{m/s}^2$.

由题意知, $a>1.5\text{m/s}^2$.

20. [解析] 设细绳长 l,下面的球刚好出现在窗口上沿时的速度为 v_1,上面的球刚要离开窗口下沿时的速度为 v_2,则:

$2g(18-l)=v_1^2$, ①

$2g(18+2)=v_2^2$, ②

$v_2-v_1=gt$. ③

代入 t 值,联立解得 $l=13(\text{m})$.

第二章 相互作用

1. D

2. D [解析] 摩擦力与相对运动或相对运动趋势方向相反,摩擦力既可为物体的动力,也可以为阻力,滑动摩擦力大小才与压力成正比.因此A、B、C均错.

3. D

4. C [解析] 物体是因为惯性才沿斜面向上运动的.因此不存在一个沿斜面向上的冲力,所以A、B、D错.

5. A、B、C [解析] A、B、C三选项中物体均处平衡状态,因此皮带对物体的弹力和摩擦力的合力一定要平衡物体的重力,而摩擦力方向应沿着接触面,所以A、B、C三种情况下摩擦力方向都沿传送带向上,D选项中物体的速度小于传送带速度.则物体相对传送带向上运动,滑动摩擦力方向向下.

6. D [解析] 滑动摩擦力的方向与相对地面的运动方向相反,大小 $F=\mu F_N=\mu mg=20\text{N}$.

7. C [解析] 减小引桥的倾角,使下滑力减小.

8. A

9. A、B [解析] 以 A 为研究对象, A 相对 B 有向下运动趋势,因此 B 相对 A 有沿斜面向上的运动趋势.同理,以 A 和 B 的整体为研究对象,也可得到 B 相对斜面有向下的运动趋势,从而斜面对 B 有沿斜面向上的运动趋势. A 对 B、B 对斜面的静摩擦力方向都应沿斜面向下.

10. 2.035cm [解析] 物体的长度是游标卡尺中的主尺的零刻度线与游标尺零刻度线间的距离.其读数是主尺上的准确数与游标尺上的读数相加.这道题主尺的读数是2cm,游标尺上的第七刻度线与主尺上某刻度线相对齐,而游标尺有20个等分,所以为 $7\times\frac{1\text{mm}}{20}=0.35\text{mm}=0.035\text{cm}$.两者相加有2.035cm.

11. 120N 120° 120N 60° [解析] 同一根绳子内各处弹力相同,故 F_1 与 F_2 大小相等且与重力大小一样,均为120N,本栓 B 所受的绳子对它的压力为 F_1 与 F_2 的合力,其大小也为120N,与竖直向下成60°.

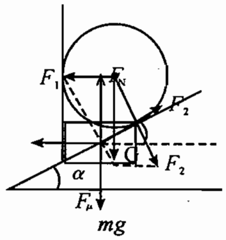
12. [答案] 0.3 24N 竖直向上

13. 20N −10N 10N 0 [解析] 运用同一条直线上矢量运算方法,将其转化为代数运算.

14. 0N 2N [解析] 把 A 和 B 看作一个整体,则地与 B 之间无摩擦力,单独隔离 A,由二力平衡条件得到 B 对 A 摩擦力方向向左,大小等于 $F=2\text{N}$.

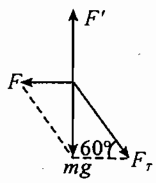
15. 不大于 $200\sqrt{3}/3\text{N}$ [解析] 先讨论哪一根绳先断,然后再来在绳都不断情况下分析.

16. ［解析］ 如图所示将球受的重力按其效果分解，依平行四边形定则及几何知识有：$F_1 = G\tan\alpha, F_2 = \frac{G}{\cos\alpha}$.



17. ［解析］ 水平力 F_1 推时，可知：
$F_1 = \mu mg$. ①
用 F_2 拉物体时，受力如图所示，
$F_2\cos\theta = F_\mu$， ②
$F_N + F_2\sin\theta = mg$， ③
$F_\mu = \mu F_N$. ④
由①②③④可得：
$F_2 = \frac{F_1 mg}{mg\cos\theta + F_1\sin\theta}$

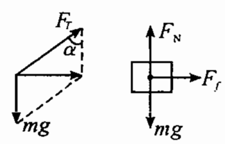
18. ［解析］ 氢气球的受力图如图所示，F_T 和 F 的合力的大小 F' 与 mg 的合力的大小 $F_{合}' = F' - mg = 16N - 10N = 6N$ 相等方向相反. 则有：
(1)绳子的拉力为
$F_T = \frac{F_{合}'}{\sin60°} = 6\frac{\sqrt{3}}{2} = 4\sqrt{3}N$；
(2)气球受到的水平风力为：
$F = F_{合}'\cos60° = 6 \times \frac{\sqrt{3}}{3}N = 2\sqrt{3}N$.



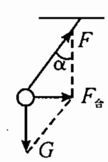
19. ［解析］ 将 F 分解为 F_1 和 F_2，由几何关系可得：$F_1 = F/\cos\alpha, F_2 = F\tan\alpha$.

第三章 牛顿运动定律

1. A
2. B ［解析］ 力是改变运动状态的原因，而不是维持运动的原因，故 A 错. 当合外力不为零，加速度就不为零，但速度有可能为零，B 对. 因合外力与速度同向，所以做加速运动，速度应越来越大，C 错. 合外力恒定时，加速度恒定，但运动状态即速度要发生改变，D 不对.
3. B、C ［解析］ 汽车和拖车之间的相互作用力，是一对作用力和反作用力，总是大小相等，方向相反，A 不正确，B 正确，对于汽车和拖车能加速前进，是因为汽车的牵引力大于汽车和拖车所受到的阻力，而对于拖车之所以能加速前进，是因为汽车对拖车的拉力大于拖车所受到的阻力，所以 C 正确，D 不正确.
4. B、C ［解析］ 应使物体所受的合力沿加速度 a 的方向.
5. B ［解析］ 对物体受力分析有 $F = mg$，设弹簧劲度系数为 k，则有 $F = kx, k \times 8 \times 10 - 2 = mg$，再向下拉 4cm，这时 $F' = k(8+4) \times 10^{-2}$，将手放开的瞬间物体受力，则物体：
$a = \frac{F' - mg}{m} = \frac{k(8+4)\times10^{-2} - k\times8\times10^{-2}}{m} = \frac{g}{2}$，故选 B.
6. A ［解析］ 铁块被吸起的过程中，由于电磁铁 A 和 B 的吸引力越来越大，B 做加速度变大的加速上升运动，对整个系统而言，处于超重现象越来越明显的状态(可以认为系统重心也在做 a 变大的加速上升运动). 所以台秤的示数应大于 G，且不断变大. 故 A 是正确的.
7. A、B、C ［解析］ 由静止状态时受力可知，$F\mu \geq 10N$，撤去 F_2 后，$\Sigma F = F_1 - F\mu \leq 40 - 10 = 30N$，故 $a_{max} = 30/2 = 15m/s^2$.
8. A ［解析］ 对人和物体分别进行受力分析后，根据牛顿第二定律写出方程：
对人有：$F_T + F_N = Mg$，对 m 有：$mg - F_T = ma$
由此解得 $F_N = (M-m)g + ma$
利用超重、失重的概念解答是很简捷的，如果物体不动那么绳对物体的拉力 $F_{T1} = mg$，此时台秤读数 $F_{N1} = Mg - F_T = (M-m)g$. 当物体以 a 加速下降时，由于失重，此时绳对物体的拉力 $F_T = m(g-a)$，所以，此时台秤读数为 $F_N = Mg - F_T = (M-m)g + ma$.
9. C ［解析］ 对物体受力分析列出方程 $F_T - mg = ma \Rightarrow F_T = mg + ma$ 读数变化超重，而对天平是根据力矩平衡条件得出：$F_1L_1 = F_2L_2$，分别对处在升降机中天平左、右盘的物体和砝码为研究对象有
$F_{N_1} - m_1g = m_1a \Rightarrow F_{N_1} = m_1(g+a), F_{N_1} = m_1(g+a)$.
$F_{N_2} - m_2g = m_2a \Rightarrow F_{N_2} = m_2(g+a)$.
又因为 $F_{N_1} = -F_1, F_{N_2} = -F_2$，
所以有 $F_{N_1} = F_{N_2}$，即 $m_1 - m_2$ 天平读数不变.
10. C ［解析］ 以水平管中液体为研究对象，由牛顿第二定律有：$[p_oS + \rho(h+\triangle h)sg] - [p_oS + \rho ghS] = \rho LSa, a = \frac{g\triangle h}{L}$ 即 $\triangle h = \frac{aL}{g}$.
11. $2.5m/s^2$ ［解析］ $a = \frac{F\sin30° - mg\sin30° - F\cos30° \cdot \mu}{m}$
$= \frac{\frac{1}{2}(20-10) - 2.5}{1} = 2.5m/s^2$.
12. $\frac{\sqrt{3}}{3}$ 3 ［解析］ 加速度为零，说明了所受的合外力为零，则 $\mu = \tan30° = \frac{\sqrt{3}}{3}$；当斜面倾角增为 45° 时，根据牛顿运动定律得：$a = \frac{mg\sin45° - \mu mg\cos45°}{m} = 3m/s^2$.
13. 4 0.16 ［解析］ 将 $x = 2t^2$ 与 $s = \frac{1}{2}at^2$ 对比写成 $x = \frac{1}{2} \times 4 \times t^2$，则 $a = 4m/s^2$.
又因为 4s 末的速度 $v = at = 4 \times 4m/s = 16m/s$，在后 10s 内有：$v_t - v_0 = at$ 则 $0 - 10 = a \times 10, a = -1.6m/s^2$，
又因为 $a = \frac{F_f}{m} = \frac{\mu \cdot mg}{m} = \mu g$，
所以 $\mu \times 10 = 1.6, \mu = 0.16$.
14. 不变 逐渐减小最后变为 0 ［解析］ 因 $G = mg$，重力产生的加速度 $a = \frac{mg}{m} = g$，与质量无关，是一个定值，不变；对雨滴有 $a = \frac{mg - F_f}{m} = g - \frac{F_f}{m}$，因为 F_f 逐渐增大，m 也增大，但 F_f 增大得快，且最后匀速下降. 所以 a 逐渐减小最后变为 0.
15. 6∶3∶2 ［解析］ 三木块的加速度相同，由 $F = ma$，可知它们的合力与 m 成正比. 故 $F_1:F_2:F_3 = m_1:m_2:m_3 = 6:3:2$.
16. $mg\tan\alpha$ 向右 ［解析］ 对球受力分析如图：有 $\frac{Mg}{F} = \cot\alpha$，$F = Mg \cdot \tan\alpha$，$a = \frac{F}{M} = g \cdot \tan\alpha$.



因为小球和物 m 同时在同一车厢内相对车厢静止，则 $a_m = a$，对物 m 受力分析有：
$F_f = ma = m\tan\alpha$，方向向右.
17. ［解析］ 解法一：(1)设运动员和吊椅的质量分别为 M 和 m，绳拉运动员的力为 F. 以运动员和吊椅整体为研究对象，受到重力的大小为 (M+m)g，向上的拉力为 2F，根据牛顿第二定律
2F − (M+m)g = (M+m)a
F = 440N
根据牛顿第三定律，运动员拉绳的力大小为 440N，方向竖直向下。
(2)以运动员为研究对象，运动员受到三个力的作用，重力大小 Mg，绳的拉力 F，吊椅对运动员的支持力 F_N。根据牛顿第二定律 $F + F_N - M_g = M_a$
$F_N = 275N$
根据牛顿第三定律，运动员对吊椅压力大小为 275N，方向竖直向下。
解法二：设运动员和吊椅的质量分别为 M 和 m；运动员竖直向下的拉力大小为 F，对吊椅的压力大小为 F_N。
根据牛顿第三定律，绳对运动员的拉力大小为 F，吊椅对运动员的支持力大小为 F_N。分别以运动员和吊椅为研究对象，根据牛顿第二定律
$F + F_N - mg = Ma$ ①
$F - F_N - mg = ma$ ②
由①②得
F = 440N
$F_N = 275N$
18. ［解析］ 小球与车有共同的加速度 a，小球受力情况如图所示，小球的加速度由重力 G 与悬线的拉力 F 的合力产生.



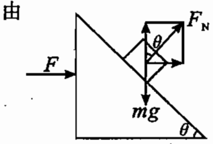
根据牛顿第二定律 $F_{合} = ma, G = mg$，
由平形四边形可知 $F^2 = F_{合}^2 + G^2$
因此 $F = \sqrt{(ma)^2 + (mg)^2} = m\sqrt{a^2 + g^2} = 0.03\sqrt{5^2 + 9.8^2}N = 0.33N$.
F 的方向：$\tan\alpha = \frac{ma}{mg} = \frac{a}{g} = \frac{5}{9.8} \approx 0.5$，
所以：α = arctan0.5.
根据牛顿第三定律，小球对悬线的拉力与 F 大小相等、方向相反. 即小球对悬线的拉力大小为 0.33N，方向是与竖直方向成 α 角(α = arctan0.5)向下.
19. ［解析］ 对环：由 $v^2 = 2as$ 有 $a = \frac{4^2}{2 \times 0.5} = 16m/s^2$，又 $mg + F_f = ma$，$F_f = 0.3N$

对底座及杆：$mg = F_N + F_f$，F_f 与 F_f 大小相等，
$F_N = 1.7\text{N}$，故对水平面的压力为 1.7N.

20. [解析] 如图所示圆柱体受到重力 mg 与 A 点的支持力 F_N 作用，设圆柱体随同 V 形槽前进而不滚出的前进加速度为 a，则 a 是由重力与支持力共同作用产生的，从图中可知，$ma = mg\cdot\cot\alpha$，所以 $a = g\cot\alpha$.
从整体为研究对象有：$m'g = (M+m+m')g\cot\alpha$，
故 $m' = \dfrac{(M+m)\cot\alpha}{1-\cot\alpha}$.
当 m' 的质量满足：$m' \leqslant \dfrac{(M+m)\cot\alpha}{1-\cot\alpha}$ 时，圆柱体不会从槽中滚出.

第四章　机械能及其守恒定律

1. D [解析] 对 P 进行受力分析，如图所示，由牛顿第二定律得：
$F_N\cos\theta = mg$，$F_N\sin\theta = ma$，
得：$F_N = \dfrac{mg}{\cos\theta}$，
F_N 对 P 做的功 $W = F_N\cdot s\cdot\sin\theta = mgs\tan\theta$.



2. D [解析] 以水平导轨为参考系，小球在向下摆的过程中，小车将向右运动，因此小球的位移方向为水平向右，由拉力方向与位移方向间的夹角情况，可判断绳对小球的拉力做负功.
3. AD
4. B
5. A [解析] 设 m_1 落地瞬间，m_1 和 m_2 的共同速度为 v，绳的拉力为 F，对 m_1、m_2 分别进行受力分析后，由动能定理得：
$m_1gh - Fh = \dfrac{1}{2}m_1v^2$ ①
$Fh - m_2gh = \dfrac{1}{2}m_2v^2$ ②
由①②得 $v^2 = \dfrac{2(m_1-m_2)gh}{m_1+m_2}$.
此后，m_2 做竖直上抛运动，设还能上升的高度为 H，则
$H = \dfrac{v^2}{2g} = \dfrac{(m_1-m_2)h}{m_1+m_2}$.
6. B [解析] 子弹以一定的速度沿水平方向射向木块并留在其中这一过程中，系统机械能减少，机械能不守恒，子弹减少的动能一部分转化成热能，另一部分转化成 M 的动能和弹簧的势能. 然后，将弹簧压缩至最短这一过程中，机械能守恒，但全过程机械能不守恒，从子弹射向木块直至弹簧被压缩至最短，动能一部分转化成热能，另一部分转化成势能.
7. BC [解析] 卫星所受地球引力方向始终在卫星和地球的连线上，且指向地球，卫星运动的方向为顺时针方向，根据力和速度方向的夹角判断可得.
8. A [解析] 取 C 为重力势能的零势能面，物体在 A 点由静止释放，所以物体在 A 点的机械能 $E_A = mgh$. 物体在 B 点抛出，且水平分速度为 v，所以物体达到最高点 C 时水平速度为 v，竖直速度为零；C 点的机械能为 $E_C = \dfrac{1}{2}mv^2$. 因为在整个过程中，机械能损失为 E，有：$E_A = E + E_C$，即 $mgh = E + \dfrac{1}{2}mv^2$，得 $h = \dfrac{E}{mg} + \dfrac{v^2}{2g}$.
9. A [解析] 以 B 点所在平面为重力势能的零势能面，小滑块从 D 经 C 到 A 的过程中，摩擦阻力所做的功为：
$W = mg\cdot 3R - mg\cdot 2R = mgR$.
当小滑块从 A 点，下滑过程中，经过圆弧如果刚好能上到 C 点，这时重力势能的减少量，
$\Delta E_P = mg\cdot 2R - mgR = mgR$，$\Delta E_P = W$，
所以小滑块最高能上滑到 C 点.
10. C [解析] 设汽车所受阻力为 f，因最大速度为 v 有：
$v = \dfrac{P}{f}$ ①
当速度为 $\dfrac{v}{4}$ 时，设加速度为 a，则 $\dfrac{P}{\frac{v}{4}} - f = ma$ ②
由①②得：$a = \dfrac{3P}{mv}$.
11. B [解析] 子弹损失的动能等于子弹克服阻力所做的功，子弹的位移为打入深度 d 与木块移动距离 L 之和，设子弹与木块的摩擦力为 f，有 $\Delta E_k = f(d+L)$ ①
产生的热量为 $Q = f\cdot d$ ②
由①、②得 $\dfrac{Q}{\Delta E_k} = \dfrac{d}{d+L} = \dfrac{2}{2+1} = \dfrac{2}{3}$.
12. A [解析] 设 B 的长度为 d，系统损失的机械能转化为内能，则 $Q_1 = Q_2 = \mu m_A g\cdot d$，选项 C、D 均错. 由动能定理知 $W_1 - Q_1 = \dfrac{1}{2}m_Av^2$，$W_2 - Q_2 = \dfrac{1}{2}(m_A+m_B)v^2$，所以 $W_1 < W_2$，选项 B 错.
13. 500 [解析] 水喷出后做竖直上抛运动，水的喷出速度 $v_0 = \sqrt{2gh} = 10\text{m/s}$，
水在空中的时间 $t = \dfrac{2v_0}{g} = \dfrac{2\times10}{10}\text{s} = 2\text{s}$.
空中的水为喷水机 2s 内喷出的水，所以喷水机 2s 内喷出的水的质量为 $m = \rho V = 20\text{kg}$，喷水机的功率为
$P = \dfrac{W}{t} = \dfrac{\frac{1}{2}mv_0^2}{t} = \dfrac{\frac{1}{2}\times20\times10^2}{2}\text{W} = 500\text{W}$.
14. 75W [解析] 由牛顿第二定律得：$2F - mg = ma$，
$F = \dfrac{ma+mg}{2} = \dfrac{1\times5+1\times10}{2}\text{N} = 7.5\text{N}$.
1s 末物体的速度为：$v = at = 5\times1\text{m/s} = 5\text{m/s}$，绳上力的作用点的速度 $v_1 = 2v = 10\text{m/s}$，所以，1s 末拉力 F 的瞬时功率 $P = F_{v_1} = 7.5\times10\text{W} = 75\text{W}$.
15. $\sqrt{\dfrac{2mgh}{M+m}}$　$\dfrac{mMgh}{M+m}$ [解析] 以地面为重力势能的零势能面，由机械能守恒得：$mgh = \dfrac{1}{2}(m+M)v^2$，$v = \sqrt{\dfrac{2mgh}{M+m}}$.
根据动能定理，绳对小车做功 $W = \dfrac{1}{2}Mv^2 = \dfrac{mMgh}{M+m}$.
16. 36 [解析] 物体在运动过程中，受重力和空气阻力作用，据题意，物体在上升到某一高度的过程中，$|\Delta E_k| = 50\text{J}$，$|\Delta E| = 10\text{J}$，即物体克服重力、空气阻力做功值是 50J，克服空气阻力做功的值等于 10J. 当该物体上升到最高点时，动能损失为 $\Delta E' = 60\text{J}$，设机械能减少量 $\Delta E'$，则有：$\dfrac{\Delta E}{|\Delta E_k|} = \dfrac{|\Delta E'|}{|\Delta E|}$ ①
在全过程中，机械能的减少量为 $2\Delta E'$，当物体落回 A 点的动能为 E_k，$E_k = \Delta E - 2|\Delta E'|$ ②
由①②得 $E_k = 36\text{J}$.
17. 30° [解析] 根据机械能守恒定律有：
$mgL = \dfrac{1}{2}mv^2 + mgL(1-\sin\theta)$ ①
$\dfrac{1}{2}mv^2 = mgL(1-\sin\theta)$ ②
由①②得 $mgL = 2mgL(1-\sin\theta)$，
$\dfrac{1}{2} = 1-\sin\theta$，$\sin\theta = \dfrac{1}{2}$，$\theta = 30°$.
18. 11　7　38 [解析] 滑块由 A 到 B 的过程中，由动能定理得：
$mgR - W_f = \dfrac{1}{2}mv_B^2 - 0$，
$W_f = mgR - \dfrac{1}{2}mv_B^2 = (2\times10\times1 - \dfrac{1}{2}\times2\times9)\text{J} = 11\text{J}$.
摩擦力做功与路径有关，平均阻力的大小
$f = \dfrac{W_f}{s} = \dfrac{W_f}{\frac{1}{4}\times2\pi R} = 7\text{N}$.
滑块从 A 到 B 的过程做圆周运动，到达 B 点时有：
$F_N - mg = m\dfrac{v_B^2}{R}$，$F_N = mg + \dfrac{mv_B^2}{R} = 38\text{N}$.
19. [解析] (1) 设碰撞前 m_1 的速度为 v_{10}，根据机械能守恒定律 $m_1gh = \dfrac{1}{2}m_1{v_{10}}^2$ ①
设碰撞后 m_1 与 m_2 的速度分别为 v_1 和 v_2，根据动量守恒定律 $m_1v_{10} = m_1v_1 + m_2v_2$ ②
由于碰撞过程中无机械能损失
$\dfrac{1}{2}m_1{v_{10}}^2 = \dfrac{1}{2}m_1{v_1}^2 + \dfrac{1}{2}m_2v_2^2$ ③
②、③式联立解得 $v_2 = \dfrac{2m_1v_{10}}{m_1+m_2}$ ④
将①式代入④式得 $v_2 = \dfrac{2m_1\sqrt{2gh}}{m_1+m_2}$

(2)a. 由④式,考虑到 $E_{k1}=\frac{1}{2}m_1v_{10}^2$ 和 $E_{k2}=\frac{1}{2}m_2v_2^2$,得 $E_{k2}=\frac{4m_1m_2}{(m_1+m_2)^2}E_{k1}$

根据动能传递系数的定义,对于1、2两球

$k_{12}=\frac{E_{k2}}{E_{k1}}=\frac{4m_1m_2}{(m_1+m_2)^2}$ ⑤

同理可得,球 m_2 和球 m_3 碰撞后,动能传递系数 k_{13} 应为

$k_{13}=\frac{E_{k3}}{E_{k2}}=\frac{E_{k2}}{E_{k1}}\cdot\frac{E_{k3}}{E_{k2}}=\frac{4m_1m_2}{(m_1+m_2)^2}\cdot\frac{4m_2m_3}{(m_2+m_3)^2}$ ⑥

依此类推,动能传递系数 k_m 应为

$k_{1n}=\frac{E_{kn}}{E_{k1}}=\frac{E_{k2}}{E_{k1}}\cdot\frac{E_{k3}}{E_{k2}}\cdots\frac{E_{kn}}{E_{k(n-1)}}=\frac{4m_1m_2}{(m_1+m_2)^2}\cdot\frac{4m_2m_3}{(m_2+m_3)^2}\cdots\frac{4m_{n-1}m_n}{(m_{n-1}+m_n)^2}$

解得:$k_{10}=\frac{4^{n-1}m_1m_2^2m_3^2\cdots m_{n-1}^2m_n}{(m_1+m_2)^2(m_2+m_3)^3\cdots(m_{n-1}+m_n)^2}$

b. 将 $m_1=4m_0$,$m_3=m_0$ 代入⑥式可得

$k_{13}=64m_0^2[\frac{m_2}{(4m_0+m_2)(m_2+m_0)}]^2$

为使 k_{13} 最大,只需使 $\frac{m_2}{(4m_0+m_2)(m_2+m_0)}=\frac{1}{m_2+\frac{4m_0^2}{m_2}+5m_0}$ 最大,

即 $m_2+\frac{4m_0^2}{m_2}$ 取最小值,由 $m_2+\frac{4m_0^2}{m_2}=(\sqrt{m_2}-\frac{2m_0}{\sqrt{m_2}})^2+4m_0$ 可知,

当 $\sqrt{m_2}=\frac{2m_0}{\sqrt{m_2}}$,即 $m_2=2m_0$ 时,k_{13} 最大。

20. (1)设小物体运动到 p 点时的速度大小为 v,对小物体由 a 运动到 p 过程应用动能定理得

$-\mu mgL-2Rmg=\frac{1}{2}mv^2-\frac{1}{2}mv_0^2$ ①

小物体自 p 点做平抛运动,设运动时间为 t,水平射程为 s,

则 $2R=\frac{1}{2}gt^2$ ②

$s=vt$ ③

更多资料下载,关注微信公众号……赠送5000G学习大礼包

联立①②③式,代入数据解得 $s=0.8m$ ④

(2)设在数字"0"的最高点时管道对小物体的作用力大小为 F,取竖直向下为正方向

$F+mg=\frac{mv^2}{R}$ ⑤

联立①⑤式,代入数据解得 $F=0.3N$ ⑥

方向竖直向下

第五章 曲线运动

1. D [解析] 物体受恒力作用,则具有大小和方向都不变的加速度,而匀速运动是没有加速度的,故A错.匀速圆周运动的加速度方向必须不断改变,故B也错.由于加速度不变,故C也错.当加速度与速度方向不在一条直线上,物体将做曲线运动,故D正确.

2. B [解析] 平抛运动只受恒力(重力)作用,故是匀变速运动,A错、B对、C错.平抛运动是由水平方向上的匀速直线运动和竖直方向上的自由落体运动合成的,故D错.

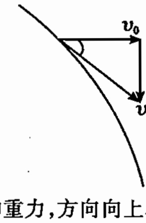
3. C [解析] 物体离开飞机时都有与飞机相同的水平速度,故它们都在飞机的正下方.但每个物体都做平抛运动.地面观察都以地面为参考系,看到的应是B选项的情景,而飞机上的观察者以飞机为参考系,则没有水平速度,故C对,D错.

4. B [解析] 由于轮与皮带之间无滑动,两轮边缘的线速度都等于皮带的速度,故B对.由 $v=\omega\cdot r$ 可知,由于 r 不同,角速度也不相同,故A错.又 $a=\frac{v^2}{r}$,当 v 相等,而 r 不等时,a 也不相同,故C错.根据 $T=\frac{2\pi}{\omega}$,可知当角速度 ω 不等时,周期 T 也不等,D错.

5. D [解析] 由图所示可知 $\tan\theta=\frac{gt}{v_0}$,可得 $v_0=\frac{gt}{\tan\theta}=gt\cot\theta$.

6. D [解析] 小球只受到重力和绳 AB 的拉力,小球做匀速圆周运动的合力是由这两个力的合力提供的.方向垂直指向 BC 轴,故选D.

7. B [解析] 小球在杆的最上端时,速度可以为零(如果是线,则小球通过最高点的速度不可为0,否则小球会掉下来),这时向心力为零,



杆的支持力就等于球的重力,方向向上.当小球的速度大于零而小于 $\sqrt{gR}$ 时,杆对球仍有向上的支持力,但该力会随 v 的增大而减少.当 $v=\sqrt{gR}$ 时,向心力的大小等于重力并向下,可知此时小球将只受重力作用.如 $v>\sqrt{gR}$ 时,则此时的向心力大于重力,需要杆对球施加向下的拉力,才能达到所需的向心力,故本题中的①③正确,选B.

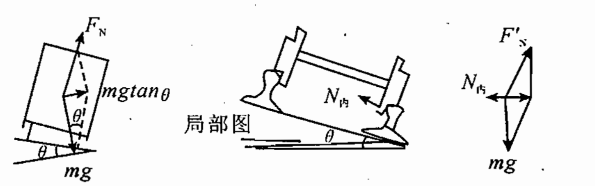
8. D [解析] 做曲线运动的物体无论速度大小是否变化,速度方向一定在变,一定有加速度,故A错.物体不受外力或受合力为零,一定是匀速运动,故B错.角速度相等的两个物体,其线速度也不一定相等,对于线速度相等的两个物体,其角速度也不一定相等,故C也错,做匀速圆周运动的物体,其所受合力一定是向心力,方向沿半径指向圆心,而速度方向一定在切线上与半径垂直,故D对.

9. B [解析] 当车突然停止时,A、B 两物体各自绕其悬点做圆周运动,则有 $F_A-mg=m\frac{v^2}{l_A}$,$F_B-mg=m\frac{v^2}{l_B}$,因为 $l_B>l_A$,所以 $F_B<F_A$,则B项正确,A、C、D项错误.

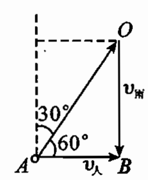
[点拨] 当车匀速运动时,重物 A、B 处于平衡状态,悬绳拉力等于物体的重力;车突然停止时,A、B 做圆周运动,绳的拉力与重力的合力提供向心力.

10. AC [解析] 由于弯道处的力学结构,路轨对火车的支持力和火车的重力的合力提供向心力,$ma=mg\tan\theta=m\frac{v^2}{R}$.

当 $v=\sqrt{Rg\tan\theta}$ 时,内外轨都不会对车轮有挤压,当 $v<\sqrt{Rg\tan\theta}$ 时,可知向心力小于轨道支持力与火车重力的合力.要保证火车能拐弯,应由内轨对车轮产生挤压力,使火车受到的合力减小到拐弯所需的



向心力如图均无挤压时,$F_N=\frac{mg}{\cos\theta}$.即 F_N 竖直方向的分量应用重力平衡.当内轨有挤压力时,由局部图可见,内轨对车轮的挤压斜向上,该力向上的分量将导至 F_N' 的减小:$F_N\cos\theta+F_N'\sin\theta=mg$.因而C对,D错.故选AC.



11. 4.6m/s [解析] 人在前进中会感觉到雨点与竖直成30°角迎面打来,是因为人在 A 处时,前上方60°处 O 点的雨滴会在 B 处打在人身上.由图可知 $\frac{v_人 t}{v_雨 t}=\frac{\sqrt{3}}{3}$,可得 $v_人=\frac{8\sqrt{3}}{3}m/s=4.6m/s$.

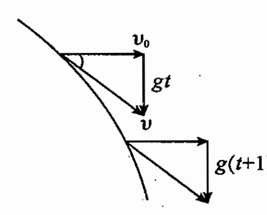
12. 40m/s [解析] 如图所示,可知

$\frac{gt}{v_0}=\tan37°=\frac{3}{4}$.

$\frac{g(t+1)}{v_0}=\tan45°=1$.

有 $\frac{t}{t+1}=\frac{3}{4}$,$t=3$.

代入得 $v_0=40m/s$.



13. $v\sin\theta$ [解析] 因为 $\frac{v_绳}{v_人}=\sin\theta$,$v_A=v_绳=v_人\sin\theta=v\sin\theta$.

14. $m(g+\frac{v^2}{R})$ $\mu m(g+\frac{v^2}{R})$ [解析] 在碗底时有 $F_N-mg=m\frac{v^2}{R}$,得 $F_N=m(g+\frac{v^2}{R})$,此时摩擦力为 $f=\mu F_N=\mu m(g+\frac{v^2}{R})$.

15. 9:16 [解析] 设 A 球抛出后经 t_1 时间落到斜面上,水平位移为 s_1,竖直位移为 h_1,则 $s_1=v_0t_1$ ①

$h_1=\frac{1}{2}gt_1^2$ ②

$\frac{h_1}{s_1}=\tan37°=\frac{3}{4}$ ③

解式①②③得 $t_1=\frac{3v_0}{2g}$ ④

设 B 球抛出后经 t_2 时间落到斜面上，水平位移为 s_2，竖直位移为 h_2，则 $s_2=v_0t_2$ ⑤

$h_2=\frac{1}{2}gt_2^2$ ⑥

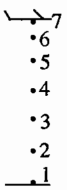
$\frac{h_2}{s_2}=\tan53°=\frac{4}{3}$ ⑦

解式⑤⑥⑦得 $t_2=\frac{8v_0}{3g}$ ⑧

所以得 $t_1:t_2=9:16$.

［点拨］ 既然是在斜面上的平抛运动，就要将平抛运动与斜面数据联系起来。

16. 720m 100m ［解析］ 以飞机为参照物，它们都排成一条线做自由落体运动. 由右图可知第 7 个离开飞机时. 第一个已飞行了 6 个时间间隔. 设飞机高度为 h. 有 $h=\frac{1}{2}g(6t)^2=720\text{m}$，第三个离开飞机运动了 $3\times2\text{s}=6\text{s}$，第 5 个离开飞机飞行了 $2\times2\text{s}=4\text{s}$，则 $s_{3\sim5}=\frac{1}{2}g\times6^2-\frac{1}{2}g\times4^2=100\text{m}$.



17. (1)16N 向下 (2)44N 向上 ［解析］ 由动力学关系可得

$mg+F_N=m\frac{v^2}{R}$，

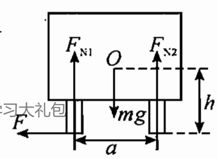
(1)当 $v=1.0\text{m/s}$ 时，有 $20+F_N=\frac{2\times1}{0.5}$，求得 $F_N=-16\text{N}$. 表明该力方向与 mg 方向相反. 大小为 16N，

故可得杆对球的作用力向上，16N，球对杆的作用力方向向下，大小为 16N，(作用力反作用力关系).

(2)当 $v=4\text{m/s}$ 时，有 $20+F_N=\frac{2\times4^2}{0.5}$，求得 $F_N=44\text{N}$. 即杆对球的作用力为向下 44N，而球对杆的作用力为 44N，向上.

18. (1)2×10^3N (2)9×10^3N，1.1×10^4N

(3)16m/s ［解析］ 如图所示，汽车拐弯时地面对汽车的静摩擦力提供向心力，当静摩擦力达到滑动摩擦力时汽车拐弯速度最大. 汽车有一定的宽度，拐弯时求两轮胎的弹力应考虑转动力矩的问题.



(1)所需向心力由静摩擦力提供，$F=\frac{mv^2}{R}=2\times10^3\text{N}$.

(2)两轮所受弹力与汽车的重力相平衡，满足 $F_{N1}+F_{N2}-mg=0$；又因汽车受到重力、弹力、摩擦力后不发生倾倒，可见这些力对重心产生的合力矩为零，得 $Fh+F_{N1}\frac{a}{2}-F_{N2}\frac{a}{2}=0$. 以上二式联立可得 $F_{N1}=9\times10^3\text{N}$，$F_{N2}=1.1\times10^4\text{N}$.

(3)当车速增大到极限速度 v 时，此时静摩擦力达到最大，$\mu mg=\frac{mv^2}{R}$，$v=\sqrt{\mu Rg}=16\text{m/s}$.

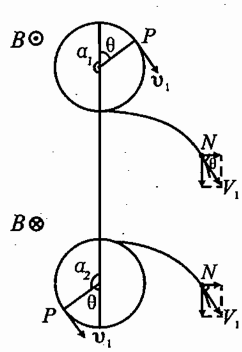
19. ［解析］ (1)设弹簧的弹力做功为 W，有：

$\text{mgR}+\text{W}=\frac{1}{2}\text{m}v^2-\frac{1}{2}\text{m}v_0{}^2$ ①

代入数据，得：W = −2.05J ②

(2)由题给条件知，N 碰后作平抛运动，P 所受电场力和重力平衡，P 带正电荷。设 P、N 碰后的速度大小分别为 v_1 和 V，并令水平向右为正方向，有：$\text{m}v=\pm\text{m}v_1+\text{MV}$ ③

而：$v_1=\frac{\text{Bqr}}{\text{m}}$ ④



若 P、N 碰后速度同向时，计算可得 $\text{V}<v_1$，这种碰撞不能实现。P、N 碰后瞬时必为反向运动。有：$\text{V}=\frac{\text{m}v+\text{Bqr}}{\text{M}}$ ⑤P、N 速度相同时，N 经过的时间为 t_N，P 经过的时间为 t_P。设此时 N 的速度 V_1 的方向与水平方向的夹角为 θ，有：

$\cos\theta=\frac{\text{V}}{\text{V}_1}=\frac{\text{V}}{v_1}$ ⑥

$gt_N=\text{V}_1\sin\theta=v_1\sin\theta$ ⑦

代入数据，得：$t_N=\frac{\sqrt{3}}{4}\text{s}$ ⑧

对小球 P，其圆周运动的周期为 T，有：$\text{T}=\frac{2\pi\text{m}}{\text{Bq}}$ ⑨

经计算得：$t_N<\text{T}$

P 经过 t_p 时，对应的圆心角为 a，有：$t_p=\frac{a}{2\pi}\text{T}$ ⑩

当 B 的方向垂直纸面朝外时，P、N 的事度相同，如图可知，有：$\alpha_1=\pi+\theta$ ⑪

联立相关方程得：$t_{p1}=\frac{2\pi}{15}\text{s}$ ⑫

比较得，$t_N\neq t_{p1}$，在此情况下，P、N 的速度在同一时刻不可能相同。

当 B 的方向垂直纸面朝里时，P、N 的速度相同，同样由图，有：$\alpha_2=\pi-\theta$ ⑬

比较得，$t_N\neq t_{p1}$，在此情况下，P、N 的速度在同一时刻不可能相同。

(3)当 B 的方向垂直纸面朝外时，设在 t 时刻 P、N 的速度相同，$t_N=t_p=t$，再联立④⑦⑨⑩⑪解得：$r=\frac{(\pi+\theta)m^2g}{B^2q^2\sin\theta}$ ⑮

考虑圆周运动的周期性，有：$r=\frac{[(2n+1)\pi+\theta]m^2g}{B^2q^2\sin\theta}(n=0,1,2\cdots)$ ⑯

当 B 的方向垂直纸面朝里时，设在 t 时刻 P、N 的速度相同，$t_N=t_p=t$，同理得：$r=\frac{(\pi-\theta)m^2g}{B^2q^2\sin\theta}$ ⑰

考虑圆周运动的周期性，有：$r=\frac{[(2n+1)\pi-\theta]m^2g}{B^2q^2\sin\theta}(n=0,1,2\cdots)$ ⑱

(给定的 B、q、r、m、θ 等物理量决定 n 的取值)

20. ［解析］ (1)设小球经过第一个圆轨道的最高点时的速度为 v_1，根据动能定理

$-\mu\text{mgL}_1-2\text{mgR}_1=\frac{1}{2}\text{m}v_1^2-\frac{1}{2}\text{m}v_0{}^2$ ①

小球在最高点受到重力 mg 和轨道对它的作用力 F，根据牛顿第二定律

$\text{F}+\text{mg}=\text{m}\frac{v_1{}^2}{\text{R}_1}$ ②

由①②得 F = 10.0N ③

(2)设小球在第二个圆轨道最高点的速度为 v_2，由题意 $\text{mg}=\text{m}\frac{v_2^2}{\text{R}_2}$ ④

$-\mu\text{mg}(\text{L}_1+\text{L})-2\text{mgR}_2=\frac{1}{2}\text{m}v_2{}^2-\frac{1}{2}\text{m}v_0{}^2$ ⑤

由④⑤得 L = 12.5m ⑥

(3)要保证小球不脱离轨道，可分两种临界情况进行讨论：

Ⅰ. 轨道半径较小时，小球恰能通过第三个圆轨道，设在最高点的速度为 v_3，应满足

$\text{mg}=\text{m}\frac{v_3^2}{\text{R}_3}$ ⑦

$-\mu\text{mg}(\text{L}_1+2\text{L})-2\text{mgR}_3=\frac{1}{2}\text{m}v_3^2-\frac{1}{2}\text{m}v_0^2$ ⑧

由⑥⑦⑧得 $\text{R}_3=0.4\text{m}$ ⑨

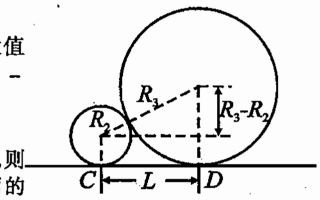
Ⅱ. 轨道半径较大时，小球上升的最大高度为 R_3，根据动能定理

$-\mu\text{mg}(\text{L}_1+2\text{L})-\text{mgR}_3=0-\frac{1}{2}\text{m}v_0{}^2$

解得 $\text{R}_3=1.0\text{m}$

为了保证圆轨道不重叠，R_3 最大值应满足 $(\text{R}_2+\text{R}_3)^2=\text{L}^2+(\text{R}_3-\text{R}_2)^2$

解得 $\text{R}_3=27.9\text{m}$



综合Ⅰ、Ⅱ，要使小球不脱离轨道，则第三个圆轨道的半径须满足下面的条件

$0<\text{R}_3\leq0.4\text{m}$

或 $1.0\text{m}\leq\text{R}_3\leq27.9\text{m}$

(若写成 $1.0\text{m}\leq\text{R}_3\leq27.9\text{m}$，也可)

当 $0<\text{R}_3\leq0.4\text{m}$ 时，小球最终停留点与起点 A 的距离为 L′，则

$-umgL'=0-\frac{1}{2}mv_0^2$

$L'=36.0m$

当 $1.0m\le R_3\le 29.7m$ 时,小球最终停留点与起点A的距离为 L'',则 $L''=L'-2(L'-L_1-2L)=26.0m$

第六章 万有引力与航天

1. BC [解析] 人造地球卫星在空中做圆周运动时,由于受阻力影响,运动半径会越来越小.由 $\frac{GMm}{R^2}=\frac{mv^2}{R}$,得 R 减小时,mv^2 增大;由 $\frac{GMm}{R^2}=m\frac{4\pi^2}{T^2}R$ 得,R 减小时,T 将变小.

2. ABD [解析] 向心加速度 $a=\frac{GM}{R^2}=\frac{GMR_0^2}{R_0^2R^2}=\frac{g_0R_0^2}{R^2}$,故A对;
由 $v=\sqrt{\frac{GM}{R}}=\sqrt{\frac{GMR_0^2}{R_0^2R}}=\sqrt{\frac{g_0R_0^2}{R}}$,可知B对;
由 $W=\sqrt{\frac{GM}{R^3}}=\sqrt{\frac{GM}{R_0^2}\cdot\frac{R_0^2}{R^3}}=\sqrt{\frac{g_0R_0^2}{R^3}}$,可知C错;
由 $T=\sqrt{\frac{4\pi^2R^3}{GM}}=2\pi\sqrt{\frac{R^3R_0^2}{GMR_0^2}}=2\pi\sqrt{\frac{R^3}{g_0R_0^2}}$,可知D对.

3. D [解析] 航天飞机绕地球做匀速运动时,万有引力等于向心力,有 $G\frac{Mm}{r^2}=m\frac{v^2}{r}$.当天线脱落时,由于惯性,应保持与航天飞机相同的速度.设天线的质量为 Δm,对天线而言,地球的引力为 $G\frac{M\Delta m}{r^2}$,与 $\Delta m\frac{v^2}{r}$ 依然保持相等的关系,故天线虽脱落,仍与飞机在一起在原轨道上保持圆周运动;同样对航天飞机而言,也有 $\frac{GM(m-\Delta m)}{r^2}$ 与 $(m-\Delta m)\frac{v^2}{r}$ 相等,也保持在原轨道上运动.

4. D [解析] 由 $v=\sqrt{\frac{GM}{r}},\omega=\sqrt{\frac{GM}{r^3}},a=\frac{GM}{R^2}$ 及 $T=2\pi\sqrt{\frac{R^3}{GM}}$,可判断只有D对.

5. AC [解析] 由 $v=\sqrt{\frac{GM}{r}}=\sqrt{\frac{GMR^2}{R^2(R+h)}}=\sqrt{\frac{R^2g}{R+h}}$,可知A对、B错.由 $v=\frac{2\pi r}{T}=\frac{2\pi(R+h)}{T}$,可知C对,D错.

更多资料干货 关注微信公众号 学习第一线 赠送5000G学习大礼包

6. BC [解析] 因同步卫星绕地球运动时需要地球的引力作为向心力,故A错.由 $\frac{GMm}{(R_0+h)^2}=\frac{GM}{R_0^2}\cdot\frac{mR_0^2}{(R_0+h)^2}=m\frac{R_0^2g}{(R_0+h)^2}$,知B对.由向心力 $m\omega_0^2(R+h)=G\frac{Mm}{(R+h)^2}$,得 $(R+h)=\sqrt[3]{\frac{GM}{\omega^2}}=\sqrt[3]{g_0\frac{R_0^2}{\omega_0^2}}$,故 $m\omega_0^2(R+h)=m\sqrt[3]{R_0^2g_0\omega_0^4}$,C对,D错.

7. AC [解析] 由 $\frac{v_1}{v_2}=b=\sqrt{\frac{g_1r_1}{g_2r_2}}=\sqrt{\frac{g_1}{g_2}a}$,得 $\frac{b^2}{a}=\frac{g_1}{g_2}$.
又 $g_1=\frac{GM_1}{r_1^2},g_2=\frac{GM_2}{r_2^2}$,
故 $\frac{g_1}{g_2}=\frac{M_1}{M_2}\cdot\frac{r_2^2}{r_1^2}=\frac{M_1}{M_2}\frac{1}{a^2}$,故 $\frac{b^2}{a}=\frac{M_1}{M_2}\cdot\frac{1}{a^2},\frac{M_1}{M_2}=ab^2$,知A对.
$g_1=\omega_1^2r_1,g_2=\omega_2^2r_2$,故 $\frac{g_1}{g_2}=\frac{\omega_1^2}{\omega_2^2}\cdot\frac{r_1}{r_2}=\frac{\omega_1^2}{\omega_2^2}\cdot a=\frac{b^2}{a}$,有 $\frac{\omega_1^2}{\omega_2^2}=\frac{b^2}{a_2}$,
即 $\omega_1:\omega_2=\frac{b}{a}$,故C对.
由 $g_1=\frac{4\pi^2r_1}{T_1^2},g_2=\frac{4\pi^2r^2}{T_2^2}$,得 $\frac{g_1}{g_2}=\frac{r_1T_2^2}{r_2T_1^2}=a\frac{T_2^2}{T_1^2}=\frac{b^2}{a}$,故 $\frac{T_1}{T_2}=\frac{a}{b}$,知B错.
由 $g_1=\frac{v_1^2}{r_1},g_2=\frac{v_2^2}{r_2}$,得 $\frac{g_1}{g_2}=\frac{v_1^2r_2}{v_2^2r_1}=\frac{v_1^2}{v_2^2}\cdot\frac{1}{a}=\frac{b^2}{a}$,故 $\frac{v_1}{v_2}=b$,D错.

8. C

9. AC [解析] 物体放手后仍保持与卫星相同的速度做圆周运动.相对卫星静止,故A对.当物体被抛出后,相对卫星有了速度,如果该速度不是太小,则此时的万有引力将不等于其所需向心力:当 $F_{引}>F_{向}$ 时,物体有下降的趋势;当 $F_{引}<F_{向}$ 时,物体将做离心运动,故不会做往返运动,B错.触动单摆后小球将做圆周运动,C对.在人造卫星中,重力提供向心力作用,但由于其他原因产生的弹力并不都会消失,故摩擦力不一定会消失.

10. C [解析] 由 $v=\sqrt{\frac{GM}{r}},\frac{v'}{8}=\frac{\sqrt{GM/2R}}{\sqrt{GM/R}}$,得 $v'=\frac{8}{\sqrt{2}}$km/s$=4\sqrt{2}$km/s.

11. C [解析] 由 $\frac{T_1^2}{T_2^2}=\frac{R_1^3}{R_2^3}$ 得,若要 $T_2=2T_1$,需满足 $R_2=\sqrt[3]{4}R_1$,故选C.

12. A [解析] 由 $v=\sqrt{\frac{GM}{R}}$,可得 $\frac{v'}{v}=\frac{\sqrt{\frac{GM'}{R'}}}{\sqrt{\frac{GM}{R}}}=\frac{v'}{7.9}km/s=2$,
$v'=2\times7.9$km/s≈16km/s,故选A.

13. B [解析] 由 $\frac{GMm}{R^2}=m\frac{4\pi^2}{T^2}R$、$M=\rho\cdot\frac{4}{3}\pi R^3$,得 $\rho=\frac{3\pi}{GT^2}$.只要测出环绕卫星的周期,即可求出 ρ,故选B.

14. AD [解析] 由 $v=\sqrt{\frac{GM}{r}}=\sqrt{\frac{GM}{2R}}=\sqrt{\frac{GM}{R^2}\cdot\frac{R}{2}}=\sqrt{\frac{gR}{2}}$,故选A;
$\omega=\frac{v}{R}=\sqrt{\frac{gR}{2R^2}}=\sqrt{\frac{g}{2R}};a=\frac{GM}{r^2}=\frac{GM}{(2R)^2}=\frac{g}{4};T=\frac{2\pi}{\omega}=2\pi\sqrt{\frac{2R}{g}}$,故选D.

15. $\sqrt{\frac{2v_0R}{t}}$ [解析] 由竖直上抛时的时间对称性可知,从抛出到最高点时有 $v=v_0-gt$,即 $0=v_0-g\cdot\frac{t}{2}$,可得该星球表面处重力加速度 $g=\frac{2v_0}{t}$.要想抛出后不再落回星球,必须达到该星球的第一宇宙速度 $v=\sqrt{gR}=\sqrt{\frac{2v_0R}{t}}$.

16. $\frac{N}{M^2}$ [解析] 由引力 $F=\frac{G\rho\frac{4}{3}\pi R^3m}{R^2}$ 可得,
$\frac{G\rho'\frac{4}{3}\pi(MR)^3m}{(MR)^2}:\frac{G\rho\frac{3}{4}\pi R^3m}{R^2}=N:1$,
故 $\rho'=\frac{N}{M}\rho$.

17. 9.77 0.034 ≪ 向心力
[解析] $F_{引}=\frac{6.67\times10^{-11}\times6\times10^{24<}}{(6.4\times10^6)^2}N=9.77$N.
$F_{向}=m\omega^2R=m\frac{4\pi^2}{T^2}R$,将 $T=1$ 天 $=86\,400$s 代入得
$F_{向}=\frac{1\times4\times3.14^2\times6.4\times10^6}{86\,400^2}N=0.034$N;
故 $F_{向}\ll F_{引}$,$F_{向}$ 可忽略.

18. 87.6N [解析] 由 $F_{月}=\frac{GM_{月}m}{R_{月}^2}=\frac{G\frac{1}{81}M_{地}m}{(\frac{3}{11}R_{地})^2}=\frac{121}{729}\frac{GM_{地}m}{R_{地}^2}=$ 87.6N.

19. 6.5 [解析] 由 $\frac{GMm}{r^2}=\frac{mv^2}{R}$ 得,$v=\frac{GM}{r}=\sqrt{\frac{GM}{R^2}\cdot\frac{R^2}{(R+h)^2}}=\sqrt{\frac{2gR}{3}}$
$=\sqrt{\frac{2gR}{3}}=\sqrt{\frac{2}{3}}\times7.9km/s=6.5$km/s.

20. 5.5倍 [解析] 近地卫星半径为地球半径 R,同步卫星周期 $T=86\,400$s,根据开普勒第三定律有 $\frac{(R+h)^3}{R^3}=\frac{86\,400s^2}{5\,100s^2}$ 得 $R+h=6.5R,h=5.5R$.

21. 为恒量 $\frac{3\pi}{G}$ [解析] 由 $\frac{GMm}{R^2}=m\frac{4\pi^2}{T^2}R,M=\rho\frac{4}{3}\pi R^3$ 得 $G\cdot\rho\frac{4}{3}\pi R^3=\frac{4\pi^2R^3}{T^2}$,得 $\rho=\frac{3\pi}{GT^2}$,故 $\rho T^2=\frac{3\pi}{G}$.对不同质量不同半径的行星,其自身密度 ρ 与环绕其表面做匀速运动的卫星的周期的平方的乘积为恒量 $\frac{3\pi}{G}$.

22. 90m [解析] 设星球表面处的重力加速度为 $g_{星}$,

$g_星=\frac{GM_星}{R_星^2}=\frac{G9M_地}{\frac{1}{4}R_地^2}=\frac{36GM_地}{R_地^2}=36g_地$，

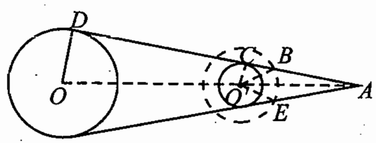
在地球上抛出时，飞行时间 $t_地=\sqrt{\frac{2h}{g_地}}$，水平位移 $x_地=v\sqrt{\frac{2h}{g_地}}$；

在星球上抛出时，飞行时间 $t_星=\sqrt{\frac{2h}{g_星}}$，水平位移 $x_星=v\sqrt{\frac{2h}{g_星}}=v\cdot\sqrt{\frac{2h}{36g_地}}=\frac{1}{6}x_地=\frac{1}{6}\times60=10\text{m}$.

23. (1) 3.6×10^7m (2) 2.6km/s ［解析］ (1) 由 $\frac{GMm}{(R+h)^2}=m\frac{4\pi^2(R+h)}{T^2}$ 得 $(R+h)^3=\frac{GMT^2}{4\pi^2}=\frac{gR^2T^2}{4\pi^2}$，其中 $R=6.4\times10^6$m，$g=10\text{m/s}^2$，$T=24\times3\ 600\text{s}=86\ 400\text{s}$.
得 $h=3.6\times10^7$m.

(2) 由 $\frac{GMm}{(R+h)^2}=m\frac{v^2}{(R+h)}$，得 $v=\sqrt{\frac{GM}{(R+h)}}=\sqrt{\frac{gR^2}{(R+h)}}$. 也可以用 $v=\frac{2\pi(R+h)}{T}$ 求出 $v=2.6$km/s.

24. 如图，O 和 O' 分别表示地球和月球的中心. 在卫星轨道平面上，A 是地月连心线 OO' 与地月球面的公切线 ACD 的交点，D、C 和 B 分别是该公切线与地球表面、月球表面和卫星圆轨道的交点. 根据对称性，过 A 点在另一侧作地月球面的公切线，交卫星轨道于 E 点. 卫星在 $\overset{\frown}{BE}$ 上运动时发出的信号被遮挡.



设探月卫星的质量为 m_0，万有引力常量为 G，根据万有引力定律有

$G\frac{Mm}{r^2}=m(\frac{2\pi}{T})^2r$ ①

$G\frac{mm_0}{r_1^2}=m_0(\frac{2\pi}{T_1})^2r_1$ ②

式中，T_1 是探月卫星绕月球转动的周期. 由①②式得

更多资料干货 关注微信公众号 学习第一线 赠送5000G学习大礼包

$(\frac{T_1}{T})^2=\frac{M}{m}(\frac{r_1}{r})^3$ ③

设卫星的微波信号被遮挡的时间为 t，则由于卫星绕月球做匀速圆周运动，应有：$\frac{t}{T_1}=\frac{\alpha-\beta}{\pi}$ ④

式中，$\alpha=\angle CO'A$，$\beta=\angle CO'B$. 由几何关系得

$r\cos\alpha=R-R_1$ ⑤

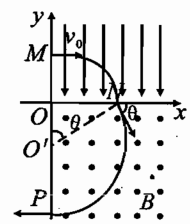
$r_1\cos\beta=R_1$ ⑥

由③④⑤⑥式得

$t=\frac{T}{\pi}\sqrt{\frac{Mr_1^3}{mr^3}}(\arccos\frac{R-R_1}{r}-\arccos\frac{R_1}{r_1})$ ⑦

第七章 磁场

1. A、B ［解析］ 磁感线在磁铁外部从 N 极出发，到 S 极终止.
2. A ［解析］ 赤道平面地磁场水平向北，据左手定则，安培力向上.
3. C、D ［解析］ 通电导线所受磁场力，与导线跟磁场夹角有关.
4. A、C ［解析］ 导线处磁场方向斜向右下方，安培力斜向左.
5. C ［解析］ 磁感线向左穿过螺线管，电源 B 端为正极.
6. B ［解析］ 阴极射线管电流向左，磁场向里，安培力向下.
7. C ［解析］ 由左手定则知 C 对.
8. A、B ［解析］洛伦兹力与速度垂直，带电粒子在磁场中不能做抛体运动.
9. A ［解析］ 碰撞时动量守恒，由 $r=\frac{mv}{qB}$ 知轨迹不变.
10. B、C、D ［解析］ 偏转线圈中磁场方向在偏转线圈内竖直向下，电子偏转幅度小，即轨道半径 R 太大造成的.
11. B ［解析］ 离子在磁场中做匀速圆周运动，半径 $r=\sqrt{2}R$，由 $r=\frac{mv}{qB}$ 知，$v=\frac{qBr}{m}=\frac{\sqrt{2}qBR}{m}=2\sqrt{2}\times10^6$m/s.
12. A、D ［解析］ 运动时间越短，圆心角越小，速度偏向角越小，速率越大.
13. 负，正，向下 ［解析］射线管 A 接电源负极，电子受安培力向下.
14. $\frac{5qBL}{4m}$，$\frac{\pi m}{qB}$ ［解析］ 从 C 点射出电子速度最大，由几何知识知 $L^2+(R-\frac{L}{2})^2=R^2$，$R=\frac{mv}{qB}$ 联合解得 $v=\frac{5qBL}{4m}$，从 B 点射出电子时间最长，$t=\frac{1}{2}T=\frac{\pi m}{qB}$.
15. 向上，0.12 ［解析］ 安培力应向右，磁场向上，且 $\mu mg=BIl$，$B=\frac{\mu mg}{Il}=0.12$T.
16. $b\to a$，$\frac{\sqrt{3}mg}{3Bl}$ ［解析］ 导体棒静止时，安培力水平向右，且 $BIl=mg\tan30°$，$I=\frac{mg\tan30°}{Bl}=\frac{\sqrt{3}mg}{3Bl}$.
17. 1000，6.25×10^{18}，负 ［解析］ 发电机 $E=\sqrt{PR}\text{V}=\sqrt{100\times100}\text{V}=100\text{V}$，由 $E=Blv$ 知 $v=\frac{E}{Bl}=\frac{100}{0.5\times0.2}\text{m/s}=1000\text{m/s}$. 离子数 $n=\frac{\sqrt{P/R}}{e}=6.25\times10^{18}$ 个.
18. (1) 设粒子过 N 点时速度为 v，有 $\frac{v_0}{v}=\cos\theta$ ①



故 $v=2v_0$ ②

粒子从 M 点运动到 N 点的过程，有

$qU_{MN}=\frac{1}{2}mv^2-\frac{1}{2}mv_0^2$ ③

$U_{MN}=\frac{3mv_0^2}{2q}$ ④

(2) 粒子在磁场中以 O' 为圆心做匀速圆周运动，半径为 $O'N$，有 $qvB=\frac{mv^2}{r}$ ⑤

$r=\frac{2mv_0}{qB}$ ⑥

(3) 由几何关系得 $ON=r\sin\theta$ ⑦

设粒子在电场中运动的时间为 t_1，有 $ON=v_0t_1$ ⑧

$t_1=\frac{\sqrt{3}m}{qB}$ ⑨

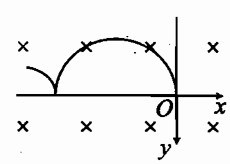
粒子在磁场中做匀速圆周运动的周期 $T=\frac{2\pi m}{qB}$ ⑩

设粒子在磁场中运动的时间为 t_2，有 $t_2=\frac{\pi-\theta}{2\pi}T$ ⑪

$t_2=\frac{2\pi m}{3qB}$ ⑫

$t=t_1+t_2$，$t=\frac{(3\sqrt{3}+2\pi)m}{3qB}$ ⑬

19. (1) 洛仑兹力不做功，由动能定理得，



$mgy=\frac{1}{2}mv^2$ ①

得 $v=\sqrt{2gy}$ ②

(2) 设在最大距离 y_m 处的速度为 v_m，根据圆周运动有，

$qv_mB-mg=m\frac{v_m^2}{R}$ ③

且由②知 $v_m=\sqrt{2gy_m}$ ④

由③④及 $R=2y_m$，得 $y_m=\frac{2m^2g}{q^2B^2}$ ⑤

(3) 小球运动如图所示，由动能定理有，

$(qE-mg)|y_m|=\frac{1}{2}mv_m^2$ ⑥

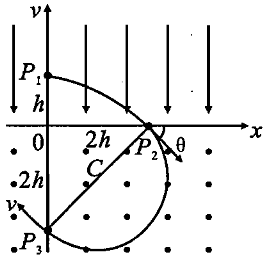
由圆周运动，有 $qv_mB+mg-qE=m\frac{v_m^2}{R}$ ⑦

且由⑥⑦及 $R=2|y_m|$ 解得 $v_m=\frac{2}{qB}(qE-mg)$

20. ［巧解］(1) 粒子在电场、磁场中运动的轨迹如图所示，设粒子从 P_1 到 P_2 的时间为 t，电场强度的大小为 E，粒子在电场中的加速度为 a，由牛顿第二定律及运动学公式有 $qE=ma$ ①

$v_0t=2h$ ②

$\frac{1}{2}at^2=h$ ③



由①②③式解得 $E=\frac{mv_0^2}{2qh}$ ④

(2)粒子到达 P_2 时速度沿 x 方向的分量仍为 v_0,以 v_1 表示速度沿 y 方向分量的大小,v 表示速度的大小,θ 表示速度和 x 轴的夹角,则有 $v_1^2=2ah$ ⑤

$v=\sqrt{v_1^2+v_0^2}$ ⑥

$\tan\theta=\frac{v_1}{v_0}$ ⑦

由②③⑤式得 $v_1=v_0$ ⑧

由⑥⑦⑧式得 $v=\sqrt{2}v_0$ ⑨

$\theta=45°$ ⑩

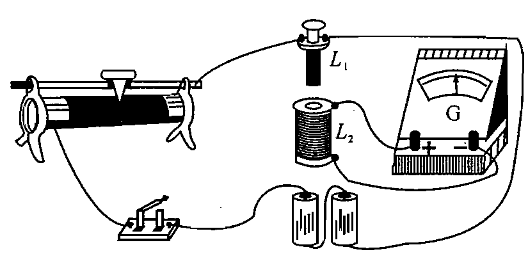
(3)设磁场的磁感应强度为 B,在洛仑兹力作用下粒子做匀速圆周运动,由牛顿第二定律 $qvB=m\frac{v^2}{r}$ ⑪

r 是圆周的半径.此圆周与 x 轴和 y 轴的交点分别为 P_2,P_3.因为 $OP_2=OP_3$,$\theta=45°$,由几何关系可知,连线 P_2P_3 为圆轨道的直径,由此可求得:$r=\sqrt{2}h$ ⑫

由⑨⑪⑫可得 $B=\frac{mv_1}{qh}$ ⑬

第八章 电磁感应

1. D [解析] 棒受安培力不一定大于最大静摩擦力
2. D [解析] 电流与箭头相反,由于是超导体,电流继续维持.
3. A、D [解析] t_1 时刻,穿过 P 磁通量增大,P 向下躲闪,$F_N>G$,t_3 时刻,$I_Q=0$,$F_N=G$.
4. C [解析] S 断开,由于线圈自感,使过电压表电流增大.
5. C [解析] ab 向右匀加速,左线圈感应磁通量向下,上端电势比下端高.
6. B、D [解析] N 中感应磁场向里,M 中原磁场向里减小,棒向右减速或向左加速.
7. A、B、C [解析]MN 相当电源,外电路为矩形线圈两部分并联,当 MN 在中间时,外电阻最大,于是外电压、外功率均最大.
8. B [解析] $q=\frac{\Delta\phi}{R}=\frac{Bls}{4\rho}=\frac{B(4ls)}{16\rho}=\frac{Bm}{16D\rho}$.
9. A、C [解析] 飞机在北半球飞行,地磁场的磁感线向下,由右手定则可判定飞机无论向哪个方向平行地面飞行,均为飞行员左侧机翼电势高.
10. D [解析] 圆盘 A 受安培力与转动方向相反,若 a 盘电流从圆心流入,b 盘亦是,若磁场方向相同,则安培力方向相反,于是转动方向相反.
11. 0.5 [解析]由能量守恒,$\frac{1}{2}mv^2=E_k-E$,得 $v^2=40m^2/s^2$,电功率 $P=\frac{E^2}{R}=\frac{(B\cdot 2r\cdot v)^2}{R}$ 得 P=0.5W.
12. 1.5,1 [解析] 电压表示数 $U=\frac{R}{R+r}E=\frac{R}{R+r}Blv=1.5V$,安培表示数 $I=\frac{E}{R+r}=1A$.
13. (1)如下图所示 (2)B、C、D



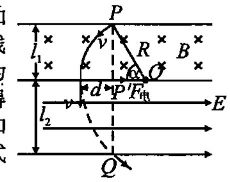
14. [解析](1)设 ab 上产生的感应电动势为 E,回路中电流为 I,ab 运动距离 s 所用的时间为 t,则有:$E=BLv$ $I=\frac{E}{4R}$ $t=\frac{s}{t}$ $Q=I^2(4R)t$

由上述方程得:$v=\frac{4QR}{B^2l^2s}$

(2)设电容器两极板间的电势差为 U,则有:$U=IR$,

电容器所带电荷量 $q=CU$,解得 $q=\frac{CQR}{Bls}$

15. [解析] 粒子在磁场中做匀速圆周运动(如图)。由于粒子在分界线处的速度与分界线垂直,圆心 O 应在分界线上。OP 长度即为粒子运动的圆弧的半径 R。由几何关系得 $R^2={l_1}^2+(R-d^2)$ ①设粒子的质量和所带正电荷分别为 m 和 q,由洛伦兹力公式和牛顿第二定律得



$q\upsilon B=m\frac{\upsilon^2}{R}$ ②

设 P′为虚线与分界线的交点,∠POP′=α,则粒子在磁场中的运动时间为

$t_1=\frac{R\alpha}{\upsilon}$ ③

式中 $sin\alpha=\frac{l_1}{R}$ ④

粒子进入电场后做类平抛运动,其初速度为 υ,方向垂直于电场。设粒子加速度大小为 a,由牛顿第二定律得

$qE=ma$ ⑤

由运动学公式有 $d=\frac{1}{2}at_2^2$ ⑥

$l_2=\upsilon t_2$ ⑦

式中 t_2 是粒子在电场中运动的时间。由①②⑤⑥⑦式得

$\frac{E}{B}=\frac{{l_1}^2+d^2}{l_2^2}\upsilon$

由①③④⑦式得

$\frac{t_1}{t_2}=\frac{{l_1}^2+d^2}{2dl_2}arcsin(\frac{2dl_1}{{l_1}^2+d^2})$

16. 导体棒所受的安培力为 $F=IlB$ ①

该力大小不变,导体棒做匀减速运动,因此在导体棒的速度从 v_0 减小到 v_1 的过程中,平均速度为 $\bar{v}=\frac{1}{2}(v_0+v_1)$ ②

当导体棒的速度为 v 时,感应电动势的大小为 $E=lvB$ ③

导体棒中的平均感应电动势为 $\bar{E}=l\bar{v}B$ ④

由②④得 $\bar{E}=\frac{1}{2}l(v_0+v_1)B$ ⑤

导体棒中消耗的热功率为 $P_1=I^2r$ ⑥

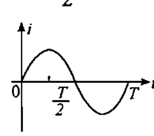
负载电阻上消耗的平均功率为 $\bar{P}_2=\bar{E}I-P_1$ ⑦

由⑤⑥⑦式得

$\bar{P}_2=\frac{1}{2}l(v_0+v_1)BI-I^2r$ ⑧

第九章 电磁波及其应用

1. B [解析] 奥斯特发现了电流的磁效应,麦克斯韦预言了电磁波的存在,赫兹用实验证实了麦克斯韦关于电磁波的预言,为了纪念赫兹,频率的单位:(Hz)赫兹.
2. B、C、D [解析] 声波不能在真空传播.
3. B、C [解析] 钟周期变长,电容器电容变大.
4. C [解析] $t=0$ 时,B 板带电为零,之后 A 板充电.
5. B、D [解析] 电容器充电,电流减小,电磁能转化周期 $\frac{1}{2}T$.
6. A、C [解析] $i-t$ 图象如右图,经 $\frac{T}{2}$ 时间,$i=0$,E 最大,上板带正电,下板带负电,E 向下,磁场能全部转化为电场能,放电时间为 $\frac{T}{4}=\frac{\pi}{2}\sqrt{LC}$ 与充电多少无关.



7. D [解析] $f_{max}=\frac{c}{\lambda_{min}}=\frac{3\times10^8}{187}Hz=1.604\times10^6Hz=1604kHz$,$f_{min}=\frac{c}{\lambda_{max}}=\frac{3\times10^8}{560}Hz=5.36\times10^5Hz=536kHz$.可容纳电台数 $n=\frac{f_{max}-f_{min}}{\Delta f}+1=\frac{1604-536}{10}+1=107.8$,取 $n=107$ 个.
8. A [解析] $\lambda=cT=1200m$,充电
9. C [解析] $t_3\sim t_4$ 时间内,电流沿逆时针方向,并且正给电容器充电,故电容器下极板带正电,则 $\varphi_B>\varphi_A$,在这段时间内,电流虽减小,但电流的变化率在增大,故 $\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$ 增大.

10. B ［解析］ $T=2\pi\sqrt{LC}$，L 减小则 T 减小 f 增大，引起振幅增大，选 B.

11. B、C、D ［解析］ 电容器在放电阶段，且 $t_2-t_1\leqslant\frac{T}{2}$.

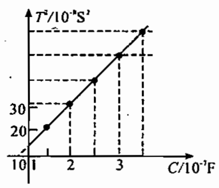
12. A、D ［解析］ 由振荡电流图象知，t_1 时充电，t_2 时电流增大.

13. $\sqrt{\lambda_1^2+\lambda_2^2}$ ［解析］ $\lambda_1^2=KC_1$，$\lambda_2^2=KC_2$，$\lambda^2=K(C_1+C_2)$，联合得 $\lambda=\sqrt{\lambda_1^2+\lambda_2^2}$.

14. 2×10^{-6}，4×10^{-6}，长波 ［解析］ E 最小，i 最大，$\lambda=cT=3\times10^8\times4\times10^{-6}$ m $=1200$ m. 2×10^{-6}，4×10^{-6}，长波

15. A、C、D

16. a 或 o，增大或不变 ［解析］ 若电子穿过两板时间为因数整数倍电子从 o 点飞出，否则从 o 点上方飞出



17. (1) $T=2\pi\sqrt{LC}$ (2) 图线如右图（应画出一条直线）

(3) 0.037H.（由 $T^2=4\pi^2LC$ 得，所画 T^2—C 图象的斜率 $k=4\pi^2L$，根据图象求出斜率 k，则 $L=\frac{k}{4\pi^2}$）

［解析］ $T=2\pi\sqrt{LC}\Rightarrow L=\frac{T^2}{C}\times\frac{1}{4\pi^2}$

$=\frac{k}{4\pi^2}=\frac{42}{3.5}\times\frac{1}{4\times3.14^2}$ H $=0.037$ H.

18. $\frac{2U}{\pi}\sqrt{\frac{C}{L}}$ ［解析］ 电容器所带的最大电量为 $Q_m=CU$，振荡电路的振荡周期为 $T=2\pi\sqrt{LC}$，电容器从开始放电到第一次放电结束所经历的时间为 $t=\frac{1}{4}T=\frac{1}{2}\pi\sqrt{LC}$，这一过程中电路中的平均电流为 $\bar{I}=\frac{Q_m}{t}=\frac{2CU}{\pi\sqrt{LC}}=\frac{2U}{\pi}\sqrt{\frac{C}{L}}$.

19. $2g$，g ［解析］ $T=2\pi\sqrt{LC}=2\times2\pi\times10^{-5}$ C，$t=\frac{1}{2}T$，$a=\frac{2mg}{m}=2g$，线圈中电流最大时，$E=0$，此时，$a=\frac{mg}{m}=g$.

20. 5.31×10^4 Hz $\leqslant f\leqslant1.33\times10^6$ Hz. 2.25×10^2 m $\leqslant\lambda\leqslant5.65\times10^3$ m.

［解析］ 最小频率 $f_1=\frac{1}{2\pi\sqrt{L_1C_1}}=\frac{1}{2\pi\sqrt{90\times10^{-3}\times10^{-10}}}$ Hz $=5.31\times10^4$ Hz，最大频率 $f_2=\frac{1}{2\pi\sqrt{L_2C_2}}=\frac{1}{2\pi\sqrt{4\times10^{-3}\times3.6\times10^{-12}}}$ Hz $=1.33\times10^6$ Hz.

更多资料干货 关注微信公众号 学习第一线 赠送5000G学习大礼包

21. $\frac{50}{3}$ ［解析］ $t=\frac{T}{2}=\pi\sqrt{LC}=\frac{1}{50}$ s，而 $\theta=\omega t=2\pi nt$，$n=\frac{\theta}{2\pi t}=\frac{50}{3}$ r/s.

第十章 分子动理论 内能

1. C ［解析］ 气体的压强是由分子无规则运动产生的，与气体是否失重无关.

2. B、C ［解析］ 由气体压强的微观解释可知，分子数相同时，气体的压强取决于分子的平均动能，在宏观上与温度有关.

3. C ［解析］ 由于分子作永不停息的无规则运动，故气体是不可能达到绝对零度的，而当气体温度降到足够低时，气体早已液化，气体定理不再适用.

4. B ［解析］ 参考液面法，因为：$p+h_1=p_0$，所以：$p=p_0-h_1$.

5. B ［解析］ 平衡法，对活塞由平衡条件有：$pS=p_0\times2S-p_0(2S-S)+2G$，所以：$p=p_0+\frac{2G}{S}$

6. A ［解析］ 因液体的压强与液体的高度有关，在活塞下移过程中，液体的高度先减小，然后不变，故液体对活塞的压强先减小然后不变，即测力计的读数先减小后不变.

7. C ［解析］ 因铁架台对试管的拉力等于试管的重力与试管内水银重力之和，当温度升高时，由于试管内气体压强增加，试管内的水银下降，故铁架台对试管的拉力减小，天平右盘升高.

8. B ［解析］ 分子热运动剧烈宏观上体现为温度，分子平均距离体现为体积，一定质量理想气体的三个状态参量满足：$\frac{pV}{T}=$ 恒量，三个参量中可能只有两个发生变化，也可能同时有三个发生变化.

9. B、D ［解析］ 因气体的体积不变，故密度不变，由于温度升高，分子运动加剧，每秒撞击单位面积器壁的气体分子数增加，气体的压强增大.

10. C ［解析］ 由于气体的温度与水温相同，保持不变，故气体的内能不变. 气泡在上升过程中，压强减小，体积增大，对外做功，同时从水中吸收热量保持内能不变.

11. C ［解析］ 由活塞平衡可知，当钩码质量不变时，气体的压强不变，而气体的温度与外界温度相同，当外界温度升高，由于气体体积增大，所以气体对外做功. 若增加钩码的质量，则气体压强增大，如气体内能不变，则气体体积增大，气体对外界做功，同时气体从外界吸收热量.

12. B ［解析］ 因气体体积增大，气体对外界做功，气体温度与外界温度相同保持不变，气体的内能不变.

13. C ［解析］ 当活塞 P 向 B 移动时，外界对气体乙做功，乙的内能增加，温度升高，并且由于温度高于甲的温度而传递热量给甲.

14. AD

15. $t=1.8\times10^4$ 年 ［解析］ 因大气压是由大气重量产生的，设大气的质量为 m_0，则 $p=\frac{m_0g}{4\pi r^2}$，因 $G\frac{Mm}{r^2}=mg$，即 $g=\frac{GM}{r^2}$，解上述三式并代入数据得：$m_0=5.8\times10^{17}$ kg，因在 1 秒钟可得到 10^6 kg 氧气，故分解出 5.8×10^{17} kg 氧气所需的时间为：$t=1.8\times10^4$ 年.

16. $V_2=\frac{(p_0S+mg\sin\theta)(M_1+M_2+m)V}{mF\cos\theta+(M_1+M_2+m)(mg\sin\theta+P_0S)}$ ［解析］ 对活塞有：$p_1S=p_0S+mg\sin\theta$，对整体：$F=(M_1+M_2+m)a$，对活塞有：$p_2S-p_0S-mg\sin\theta=ma\cos\theta$，由等压变化规律有：$p_1V_1=p_2V_2$，所以：$V_2=\frac{(p_0S+mg\sin\theta)(M_1+M_2+m)V}{mF\cos\theta+(M_1+M_2+m)(mg\sin\theta+P_0S)}$

17. $p_0+\frac{mLw^2}{2S}$ ［解析］ 对管内水银由牛顿第二定律有：$pS-p_0S=mw^2\times\frac{L}{2}$，所以：$p=p_0+\frac{mLw^2}{2S}$

18. 2.4×10^5 Pa ［解析］ 锅内最大压强为：$p=p_0+\frac{mg}{S}$，$S=\frac{\pi d^2}{4}$，代入数据得：$p=2.4\times10^5$ Pa，此时水的沸点：$t=100+\frac{(2.4-1)\times10^5}{3.6\times10^3}=139$℃

第十一章 能量的守恒与耗散

1. A ［解析］ 宇宙间温度不能达到零 K 以下.

2. D ［解析］ 布朗运动产生的原因是液体分子在做无规则运动.

3. C ［解析］ 热力学第二定律解决的是热现象的不可逆性.

4. D ［解析］ 一个分子的质量 $m=\frac{M}{N}$，单位体积内所含分子数目 $n=\frac{N}{V}=N\cdot\frac{\rho}{M}=\frac{N\rho}{M}$.

5. D ［解析］ 类比于弹簧模型知，分子力先对 b 做正功，后做负功.

6. B ［解析］ $\Delta E=Q+W=500\times4.2$ J -500 J $=1600$ J.

7. B ［解析］ 球吸热后体积增大相同，水银中的球改变体积对外做的功大于水中球对外做的功，因为水银中的球受到的压力大些.

8. D ［解析］ 根据热力学第一定律 $\Delta U=Q+W$，即 $Q=\Delta U-W$. 因为上升时气泡膨胀对外做功 $W<0$，所以 $Q>\Delta U$.

9. A ［解析］ 液体摩尔体积 $V_A=\frac{\mu}{\rho}$，

分子体积 $V=\frac{\mu}{\rho N_A}$，分子直径 $D=\sqrt[3]{\frac{6\mu}{\pi\rho N_A}}$.

10. A ［解析］ 气团的分子力为引力，气团体积缩小，温度升高.

11. C ［解析］ 由 $\Delta E=W+Q$，由于气缸、活塞是绝热的，$Q=0$，气缸中气体的内能变化仅取决于做功，当缓慢向外拉杆的过程中，甲气体体积减小，乙气体体积增大，活塞对甲气体做功，$E_甲$ 增大；乙气体对活塞做功，$E_乙$ 减小.

12. C ［解析］ 由于右侧是真空，故气体不做功，内能和温度都不变.

13. 正 正 负 负、零或正 ［解析］ 取 $r=r_0$ 为分子零势能点，其它位置分子势能均为正值，取 $r\to\infty$ 为分子势能零点，$r\geqslant r_0$ 时，为负值，$r<r_0$ 时，为负、零或正值.

14. ［解析］ 1g 食盐的分子数 $n'=\frac{m'}{m}N_A$，1cm^3 水里所含食盐分子数

$n=\frac{n'}{V}=\frac{m'N_A}{mV}=\frac{1\times6.02\times10^{23}}{58.5\times10\times10^2\times10^6\times10^6\times10}=1.0\times10^8$ 个.

15. 10^{-29} ［解析］ 从直尺上读出数据，计算每个分子直径即可估算出分子体积数量级.

16. 2×10^2 ［解析］ 由题意有：$80\%mgh=cm\Delta t$.

$h=\frac{c\Delta t}{80\%\cdot g}=\frac{4.2\times10^3\times0.37}{0.8\times10}$ m $=2\times10^2$ m.

17. $\frac{0.8nFt}{cd\rho l}$ [解析] 设钢管温度升高了Δt,则

$20\% F\pi dnt = c \cdot \frac{1}{4}\pi d^2 \cdot l\rho\Delta t$.

$\Delta t = \frac{0.8nFt}{cd\rho l}$.

18. 4.155J/cal [解析] $W=2nMgh, Q=cm\Delta t, J=\frac{W}{Q}=4.155$J/cal.

19. 0.392J 0.4℃ [解析] 金属块下滑过程减少的机械能即为重力势能减少量,这部分能由于摩擦生热转化成了等量的内能,故金属块共产生的内能为

$\Delta E=\eta mg \cdot L\sin\theta$
$=20\% \times 0.1 \times 9.8 \times 4 \times \sin 30°$J
$=0.392$J.

由于$Q=\Delta E, Q=cm\Delta t$,

则$\Delta t=\frac{\Delta E}{cm}=\frac{0.392}{98.7\times 0.1}$℃$=0.4$℃.

20. [解析] 此人慢步1h所出汗需的能量

$E'=(35-33)\times 3600$J$=7200$J.

那么此人出的汗应为

$m=\frac{E'}{E}\times 18g=\frac{7200}{4300}\times 18g=30.14g$.

21. [解析] 在子弹射入活塞的极短时间内可认为气缸静止,子弹、活塞的动量守恒,它们的共同速度为v,则有

$m_0v_0=(m_0+m)v$ ①

活塞(子弹)向右运动压缩气体,气体压强增大推动气缸加速运动,活塞减速运动,当活塞与气缸速度相同时气体体积最小,设此时速度为v',由动量守恒得:$(m_0+m)v=(m_0+m+M)v'$ ②

从活塞压缩气体到活塞与气缸速度相同时,损失的动能转化为气体内能的增量

$\Delta E=\frac{1}{2}(m_0+m)v^2-\frac{1}{2}(m_0+m+M)v'^2$ ③

联立①②③式解得:$\Delta E=\frac{Mm_0^2v_0^2}{2(m_0+m)(m_0+m+M)}$.

第十二章 电场 直流电路

1. C [解析] 在静电场中,将电子从A点移到B点,电场力做正功,则电子从低等势面向高等势面运动,场强方向无法确定,但电势能减小,所以选项C正确.

更多资料关注公众号 学习第一线 赠送5000G学习大礼包

2. D [解析] 由两等量异种电荷的等势线图,D正确.

3. D [解析] 只受电场力作用的带正电小球,一定沿电场线运动的条件是:初速为零和电场线是直线.

4. C、D [解析] 电介质内电场强度方向向下,抽出电介质,电容C变小,U不变,故Q变小,A点处有向左电流.

5. A、B、C [解析] 电势能最大变化量

$\Delta\varepsilon=qEd=3\times 10^{-10}\times 2\times 10^2\times 10^{-2}J=6\times 10^{-10}$J.

6. D [解析] 据$F=\frac{kQ_1Q_2}{r^2}$和$E=\frac{F}{q}$知,$\frac{a_N}{a_M}=\frac{F_N}{F_M}=\frac{OM^2}{ON^2}=\frac{1}{2}$,故$\frac{ON}{OM}=\sqrt{2}$.

7. A、D [解析] $y=\frac{UL^2}{4dU'}$,两种粒子侧移相同,D正确. 电场力的功$W=qEy$不同,B错. $v_0=\sqrt{\frac{2qu'}{m}}$,电场力的冲量$qEt=\frac{qEl}{v_0}=EL\sqrt{\frac{qm}{2u'}}$,A正确.

8. D [解析] 由$t=\frac{x}{v_0}, y=\frac{1}{2}at^2=\frac{1}{2}a(\frac{x}{v_0})^2$知,$y$为原来的$\frac{1}{4}$,由动能定理,末动能$E_k'=4E_k+\frac{1}{4}E_k=4.25E_k$.

9. A、C、D [解析] a、b竖直位移相等,b飞离电场时,a刚好打在负极板,b比c竖直位移大,运动时间长,而水平位移相等,故c水平速度最大.

10. A [解析] 由竖直分运动$h=\frac{1}{2}at^2$,水平分运动$x=v_0t$.

$\because X_A<X_B<X_C, \therefore t_A>t_B>t_C. \therefore a_A<a_B<a_C$. 可知三小球受到重力,由动能定理知$E_{kA}<E_{kB}<E_{kC}$.

11. B、C [解析] 油滴运动时间相同,y越大,a越大,a、b带负电,c带电未知,电场力对c做功,动能增加.

12. A D [解析] 电势能的减小量等于重力势能的增加量.

13. 5.4×10^5 左 [解析] 球心处原场强方向向右,大小$E=\frac{k(q_1+q_2)}{r^2}=\frac{9\times 10^9\times 5.4\times 10^{-8}}{(3\times 10^{-2})^2}N/C=5.4\times 10^5$N/C,故感应场强$E=5.4\times 10^5$N/C,方向向左.

14. 6 [解析] 以U_2为参考点,由能量守恒,电荷在每点总能量为10J,故电势能为4J时,动能为6J.

15. $\frac{mv_0^2}{qS}\theta$ 0 [解析] 带电粒子做圆周运动,$qE=\frac{mv_0^2}{(\frac{S}{\theta})}$,故

$E=\frac{mv_0^2}{qS}\theta$,$A$、$B$在同一等势面上$U_{AB}=0$.

16. 0.15 [解析] 由$C=\varepsilon\frac{S}{d_1}=9\times 10^{-12}\times\frac{50\times 10^{-6}}{0.6\times 10^{-3}}=0.75$pF、$C_2=1$pF.

即$1\times 10^{-12}=9\times 10^{-12}\times\frac{50\times 10^{-6}}{d_2}$,得$d_2=0.45$mm,故键需按下0.15mm.

17. A、B、D [解析] 等量异种电荷的电场线分布特点主要是有对称性.

18. C [解析] a到c电势差减小,c到b电势差增大,且两电流方向相反.

19. [解析] (1)t=0时刻进入两板间的带电粒子在电场中做匀变速曲线运动,t_0时刻刚好从极板边缘射出,在y轴负方向偏移的距离为$\frac{1}{2}l$,则有

$E=\frac{U_0}{l}$ ①

$qE=ma$ ②

$\frac{1}{2}l=\frac{1}{2}at_0^2$ ③

联立①②③式,解得两板间偏转电压为

$U_0=\frac{ml^2}{qt_0^2}$ ④

(2)$\frac{1}{2}t_0$时刻进入两板间的带电粒子,前$\frac{1}{2}t_0$时间在电场中偏转,后$\frac{1}{2}t_0$时间两板间没有电场,带电粒子做匀速直线运动。

带电粒子沿x轴方向的分速度大小为

$v_0=\frac{l}{t_0}$ ⑤

带电粒子离开电场时沿y轴负方向的分速度大小为

$v_y=\frac{1}{2}at_0$ ⑥

带电粒子离开电场时的速度大小为

$v=\sqrt{v_0^2+v_y^2}$ ⑦

设带电粒子离开电场进入磁场做匀速圆周运动的半径为R,则有$qvB=m\frac{v^2}{R}$ ⑧

联立③⑤⑥⑦⑧式解得

$R=\frac{\sqrt{5}ml}{2qBt_0}$ ⑨

(3)$2t_0$时刻进入两板间的带电粒子在磁场中运动时间最短。带电粒子离开电场时沿y轴正方向的分速度为

$v_y'=at_0$ ⑩

设带电粒子离开电场时速度方向与y轴正方向的夹角为α,则$\tan\alpha=\frac{v_0}{v_y'}$ ⑪

联立③⑤⑩式解得

$\alpha=\frac{\pi}{4}$ ⑫

带电粒子在磁场中运动轨迹如图所示,圆弧所对的圆心角$2\alpha=\frac{\pi}{2}$,所求最短时间为

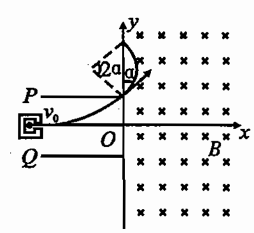
$t_{min}=\frac{1}{4}T$ ⑬

带电粒子在磁场中运动的周期为

$T=\frac{2\pi m}{qB}$ ⑭

联立⑬⑭式得

$t_{min}=\frac{\pi m}{2qB}$ ⑮



20. (1)小球P_1到达O点的时间$T=\frac{L_0}{v_0}$,与P_2相撞时,电场刚好由零变成E_0 ①

碰撞后，P_1 的速度 $v_1=-\frac{2}{3}v_0$

在电场中，P_1 的加速度是 $a=\frac{qE_0}{m_1}$ ②

P_1 向左运动的时间 $t_1=-\frac{v_1}{a}=T$ ③

在 t_1 时间内，有电场，P_1 做匀减速运动

P_1 向左运动的最大距离 $S=\frac{v_1^2}{2a}=\frac{1}{3}L_0$ ④

(2)根据动量守恒定律 $m_1v_0=m_1v_1+m_2v_2$ ⑤

求得 P_2 的速度 $v_2=\frac{1}{3}v_0$ ⑥

P_2 从 O 点运动到 B 点所需时间 $t_2=\frac{L}{v_2}=4T$ ⑦

在 t_2 时间内，一直存在电场，则 P_1 的位移 $x_1=v_1t_2+\frac{1}{2}at_2^2=2L$ ⑧

由于 $x_1>L$，故在 OB 之间 P_1 与 P_2 能再次碰撞 ⑨

第十三章　交变电流　电机

1. B ［解析］ 最大值 $I_m=\sqrt{2}I=3\sqrt{2}A$. 故瞬时值 $i=3\sqrt{2}sin100\pi t$ 或 $3\sqrt{2}sin314t$.

2. A ［解析］ $10\sqrt{2}=n\frac{\Delta\Phi}{\Delta t},\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}=\frac{10\sqrt{2}}{200}Wb/s=0.07$Wb/s.

3. ［解析］ $\frac{(U_m/\sqrt{2})^2}{R}\cdot\frac{T}{2}=\frac{U^2}{R}T$，得 $U=\frac{U_m}{2}$.

4. B、D ［解析］ 电压互感器测高电压，电流互感器测大电流，相当于直流电路里的电表的改装.

5. A、B ［解析］ 增大交流电的电压和频率，可以增大交流电的功率.

6. B、C ［解析］ 若 M 为电容，则 S 闭合时，M 为短路，$i_A<i_B$，若 M 为电感，则 S 闭合时，M 为开路，$i_A>i_B$.

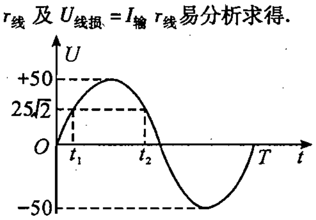
7. B、D ［解析］ 交变电流瞬时表达式中 θ 角度是从中性面开始计算的，即线圈平面与磁感应线垂直的位置，现在线圈的位置已从中性面转过了$\frac{\pi}{2}$，所以瞬时值写成 $e=2\pi Ba^2n\cos(2\pi nt)$，B 项对，$\omega=2\pi n$，∴ $T=\frac{1}{n}$，D 项对.

8. C ［解析］ $2\times10^2R\times0.1+0=I^2R\times0.4$，$I=5\sqrt{2}$A.
在根据有效值定义计算中，注意交变电流的时间，以及波形.

9. B ［解析］ 正弦交流电的电动势最大值 $E_m=BS\omega$，而 $\omega=2\pi n$，所以当转速加倍，$E_m'=2E_m=200$V，$\omega'=2\omega$，$T'=0.02$s.

10. B、C ［解析］ 由分式 $P_{线损}=I_{输}^2r_{线}$ 及 $U_{线损}=I_{输}r_{线}$易分析求得.

11. B ［解析］ 如图一个半周期内，氖管发光时间为 $\Delta t=t_2-t_1$，令 $25\sqrt{2}=50sin314t$，在 $(0,\pi)$ 内得 $t_1=\frac{1}{400}$s，$t_2=\frac{3}{400}$s，所以一个周期内氖管发光时间为 $2\times(\frac{3}{400}-\frac{1}{400})s=\frac{1}{100}$s.



12. A、C ［解析］ 据楞次定律推论，导线中电流增大时，线框就要远离导线.

13. $\frac{\sqrt{2}}{2}$,100　$t=\frac{T}{12}$时，$i=I_m\sin\frac{2\pi}{T}\times\frac{T}{12}=0.5$A，得 $I_m=1$A，有效值 $I=\frac{I_m}{\sqrt{2}}=\frac{\sqrt{2}}{2}$A，时间 $t=100T=2$s，$\theta=I^2Rt=100$J.

14. $\frac{1}{\sqrt{5}}$ ［解析］ 第一次导线损失功率 $\Delta P_1=I_1^2r=\frac{1}{10}$，第二次损失功率 $\Delta P_2=I_2^2r=\frac{1}{50}P$，故 $\frac{n_1}{n_2}=\frac{I_2}{I_1}=\frac{1}{\sqrt{5}}$.

15. 110,$\frac{1}{3}$ ［解析］ 副线圈匝数 $n_2=\frac{220}{2}=110$，原线圈电流 $I_1=\frac{n_2}{n_1}I_2=\frac{1}{3}$A.

16. 1:16;1:4 ［解析］ 因为$\frac{I_1}{I_2}=\frac{1}{4}$，所以 $P_A:P_B=I_1^2R:I_2^2R=1:16$，$U_A:U_B=I_1R:I_2R=1:4$.

17. ~ ［解析］ 电容器具有通交流隔直流的功能.

18. $NBL_1L_2\omega\sin\omega t$, N/k ［解析］ (1)线圈在匀强磁场中绕垂直于磁场的轴匀速转动时，感应电动势的最大值为 $E_m=NBS\omega=NBL_1L_2\omega$. 当线圈从中性面开始转动时，$e=E_m\sin\omega t$，所以，电动势的瞬时表达式为：$e=NBL_1L_2\omega\sin\omega t$.
(2)当 $B'=kB$ 时，$e'=N'B'L_1L_2\omega\sin\omega t$. 又 $e'=e$，所以 $N'=N/k$.

19. 3:1,$\frac{20}{3}$ ［解析］ 初级线圈回路，有 $U_1=E-I_1R$，又变压器输出功率 $P_出=0.25\times24$W$=6$W. 对理想变压器 $P_入=6$W，$P_入=U_1I_1$，即 $U_1=20V-\frac{6}{U_1}\times6$. 解得 $U_1=18$V.
故$\frac{n_1}{n_2}=\frac{U_1}{U_2}=3:1$. 发电机输出功率 $P=EI_1=\frac{20}{3}$W.

20. (1)$U=\frac{nB\omega L_1L_2R}{\sqrt{2}(R+r)}$；(2)$W=\frac{n^2B^2L_1^2L_2{}^2\pi\omega}{R+r}$
［解析］ (1)$E_m=nBL_1L_2\omega$
电压表测的是电阻 R 上交流电压的有效值.
$U=\frac{E_m}{\sqrt{2}(R+r)}\cdot R=\frac{nB\omega L_1L_2R}{\sqrt{2}(R+r)}$.
(2)线圈转动一周外力做的功等于电路中产生的电能，而周期 $T=\frac{2\pi}{\omega}$，所以 $W=P\cdot T=\frac{E^2}{(R+r)}\cdot T=\frac{n^2B^2L_1^2L_2{}^2\pi\omega}{R+r}$.

第十四章　物体的平衡

1. C

2. A、C ［解析］ 由滑动摩擦力的定义得 A 正确，由竖直方向的合力为零，得 C 也是正确的.

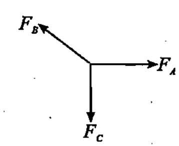
3. B ［解析］ 由于物体处于平衡状态，则其合力为零. 所以 F_1、F_2、F_3 的合力的大小与 F_4 的大小相等，方向相反. 当 F_4 转过 90°时，而 F_1、F_2、F_3 的合力大小和方向不变，则有四个力的合力大小为$\sqrt{2}F_4$.

4. D ［解析］ 本题有两种可能，其一，平面光滑，F_1 和 F_2 的大小相同. 隔离 A，A 的合外力为零，则 A、B 之间的相互作用力大小为 F_1 或 F_2. 其二，平面不光滑，A 和 B 所受摩擦力方向与 F_1 和 F_2 之中小者方向相同，相互作用力介于 F_1 和 F_2 之间.

5. A ［解析］ 只要三个力的合力能够为 0，就能使物体做匀速直线运动. 只要在三个力中任取一力，其大小在另外两力的合力大小范围之内，就能使三个力的合力为 0，满足这一条件的只有选项 A.

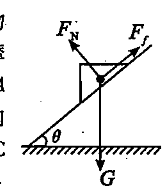
6. C ［解析］ 以小球和三角形木块组成的整体为研究对象，这一整体在水平方向上不受外力，如果受地面的摩擦力，而整体在水平方向上受力不平衡，与题给条件不符，因此地面对木板无摩擦力.

7. C ［解析］ 以滑轮为研究对象，其受力分析如下图所示，由于 F_A、F_C 是同一绳上的拉力，故 $F_A=F_C$ 且 F_A 与 F_C 垂直，因此 $F_B=\sqrt{2}F_A$，无论 B 左移、右移，F_A 与 F_C 的方向均不变，且始终有 $F_A=F_C$，因此 F_B 也不变，由于 F_B 与悬点 B 所受拉力始终大小相等方向相反，故 C 选项正确.



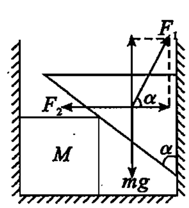
8. D ［解析］ F 尚未增大时，物体所受的静摩擦力方向未知，故 F 增大后，物体所受摩擦力可能增大，减小，或变为零，但不可能不变.

9. B ［解析］ 对物 A 进行受力分析如下图，由于物体恰能在斜面上静止，设物 A 与斜面间的最大静摩擦系数为 μ，则有 $G\sin\theta=\mu G\cos\theta$，$\mu=\tan\theta$. 如果在 A 上轻放一重物，相当于使物 A 多受一个大小为 G'向下的力，此时的摩擦力变为 $F_f=\mu(G+G')\cos\theta$，故 C 选项错误. 而此时沿斜面向下的分力也变为 $(G+G')\sin\theta$，因此仍有 $(G+G')\sin\theta=\mu(G+G')\cos\theta$，物体仍静止在斜面上，其合力仍然为 0，故只有 B 选项正确.



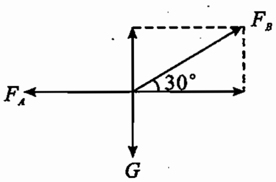
10. D

11. $\frac{mg}{\sin\alpha}$　$(m+M)g$　$\frac{mg}{\tan\alpha}$ ［解析］ 以直角劈 m 为研究对象进行受力分析如右图，



则 $F_1\sin\alpha=mg$，$F_1=\frac{mg}{\sin\alpha}$；$F_1\cos\alpha=F_2$，则 F_2

$=\dfrac{mg}{\tan\alpha}$;若以两物体组成的整体为研究对象,则有:$F_N=(m+M)g$.即地面对正方体的支持力等于两物体重力之和.



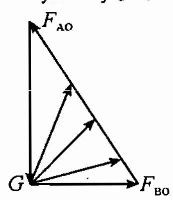
12. 100 OB [解析] 结点 O 的受力分析如下图所示,$F_A=F_B\cdot\cos30°$,故 $F_B>F_A$,故如果重物 G 太重,则 OB 段绳先断,当 $F_B=200N$ 时,由于 $F_B\sin30°=G$,则 $G=100N$.

13. 15 30 [解析] 由于 $\mu=0.3$,则 A、B 之间最大静摩擦力为 18N,B 与桌面间的最大静摩擦力为 36N,而 $F=30N$,每段绳的拉力为 15N,故 AB 均处于静止状态,以 A 为研究对象,得 AB 之间摩擦力为 15N;以 AB 整体为研究对象,可求得桌面对 B 的摩擦力为 30N.

14. 0.75 50 [解析] 当木板与水平面的倾角为 37°时,物体恰好可以匀速下滑,可得动摩擦因数为 $\mu=\tan37°=\dfrac{3}{4}=0.75$;当木板与水平面的倾角改为 30°时,物体处于静止状态,则其静摩擦力 $F_f=mg\cdot\sin30°=50N$.

15. $3\mu mg$ [解析] A 与 B 之间的弹力大小为 mg,B 与 C 之间的弹力大小为 $2mg$. 根据平衡条件和滑动摩擦力公式知:$F=F_{fAB}+F_{fBC}=\mu mg+2\mu mg=3\mu mg$.

16. 减小 先减小 后增大 [解析] 对 O 点分析受力,作出动态矢量三角形,当绳 OB 由水平缓慢转动至竖直时,由图可知:F_{AO} 减小,F_{BO} 先减小,后增大.



17. [解析] 沿斜面方向物体受到重力分力 G'、推力 F 和可能存在的静摩擦力作用. 当 F 取最大时,静摩擦力最大沿斜面向下,有 $F_{max}=G'+F_{fmax}=350N$,当 F 最小时,静摩擦力最大沿斜面向上,有 $F_{min}=G'-F_{fmax}=150N$. 故 F 的范围为:$150N\leq F\leq350N$.

18. [解析] 如右图所示位置为甲虫能爬到的最高点,受力情况如图所示,则有

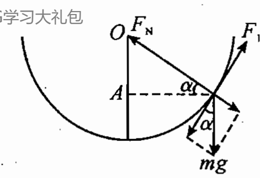
$mg\cos\alpha=F_f=\mu mg\sin\alpha$.

更多…… 关注…… 学习第一线 赠送5000G学习大礼包

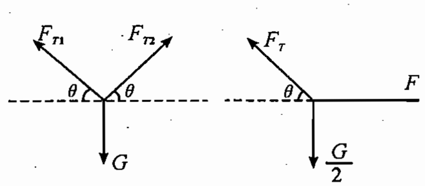
$\cot\alpha=\mu=0.75=\dfrac{3}{4}$, ①

则 $\sin\alpha=\dfrac{4}{5}$. $\overline{OA}=r\cdot\sin\alpha=\dfrac{4}{5}r$,

$h=r-\overline{OA}=\dfrac{1}{5}r$. ②



19. [解析] 在求链条两端拉力时,可把链条当作一个质点处理,受力分析如图所示. 求链条最低点张力时,可取链条的一半研究,受力分析如图所示:



(1)由平衡条件知:

在水平方向:$F_{T_2}\cos\theta=F_{T_1}\cos\theta$, ①

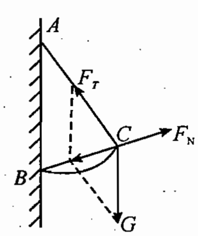
在竖直方向:$F_{T_1}\sin\theta+F_{T_2}\sin\theta=G$. ②

由①②得链条两端的力 $F_{T_1}=F_{T_2}=G/2\sin\theta$.

(2)取左边的一半的链条研究,由平衡条件知:$F=F_T\cos\theta$.

所以最低点张力 $F=F_T\cos\theta=\dfrac{G}{2\tan\theta}$

20. [解析] 以 C 点为研究对象,作出 C 点受力图如图所示,物体对 C 点向下的拉力大小等于重力 mg,绳 AC 的拉力 F_T 沿绳指向 A,硬杆对 C 点的弹力 F_N,由于硬杆的质量不计,故杆的弹力 F_N 方向沿 BC 的边线方向. 同时有几何关系 $\angle ABC=\angle BCA$,图中的 F_T 和 mg 的合力与 F_N 是一对平衡力,且合力方面与 F_T 和 mg 的夹角均相同,由三角形知识可得 $F_T=mg$.



第十五章 恒定电流

1. B、D [解析] 用户是并联电路,用户增多,总电阻越小,U 一定时,电流越大,线路损失电压增大,用户电压减小.

2. C [解析] A 项显然不正常发光,B 项 B 电灯电阻较大,不可能同时正常发光,C、D 都正常发光,但 $P_c=100+40+60=200W$,$P_D=140\times2=280W$.

3. B [解析] S 断开时,$I_1=\dfrac{E}{2R}$. S 接通时 $I'_2=\dfrac{1}{2}I_2=\dfrac{1}{2}\cdot\dfrac{2E}{3R}=\dfrac{E}{3R}$,

由 $\dfrac{I'_2}{I_1}=\dfrac{E}{3R}\Big/\dfrac{E}{2R}=\dfrac{2}{3}$.

4. B [解析] 滑动变阻器阻值 R 为定值,设 $R_a+R_b=R$,则 $R_{并}=\dfrac{R_aR_b}{R_a+R_b}$,当 $R_a=R_b$,$R_{并}=\dfrac{R}{2}$最大,∴ 此时电压表示数最大,而此时电流表示数最小,滑片移过此位置 $R_{并}\downarrow\to R_{总}\downarrow\to I\uparrow\to I_A\downarrow$,所以选 B.

5. B [解析] $R_{AC}=\dfrac{E-U_2}{I_{AC}}=10\Omega$,$R_{CB}=R-RAC=20\Omega$.

6. D [解析] 伏特计与静电计都可以测量电势差,但结构上不同,伏特计是一个大电阻,静电计的金属外壳与金属球是断开的,所以伏特计是等势体,C_1 带电量为零,静电计两端电势差等于电源电动势 E.

7. A、D [解析] 电路为灯泡 R 与 R_2 并联后再与电阻 R_1 串联,增大 R_1,减小 R_2,灯泡电压变小.

8. B、D [解析] 电池用久,内阻增大,电动势不变.

9. A、B [解析] 向左滑动则 R 减小,则 I 增大,而 r 不变,U 变小,∴ 灯 1 变暗,而 $I_{总}$ 变大,I_1 变小,∴ I_2 变大,∴ A、B 正确.

10. [解析] 设电压表和电流表的原来读数分别为 U、I,电源和电流表的内阻分别为 r_1 和 r_2,由欧姆定律得 $\begin{cases}E=U+I(r_1+r_2)\\E=\dfrac{1}{3}U+3I(r_1+r_2)\end{cases}$,代入数据解得 $U=9V$.

[标答] 9V

11. A [解析] 由 $U=\dfrac{R}{R+r}\cdot E$ 可知,R 增大,U 越大,而 $R>R_{灯}$,∴ $U_{灯}<3V$.

12. [巧解](1)串联电路中灯 L 正常发光,电动机正常工作,所以电路中电流强度为灯 L 的额定电流.

灯 L 的电阻 $R_L=\dfrac{U_L^2}{P}=\dfrac{3^2}{4.5}=2(\Omega)$,

灯 L 的额定电流为 $I=\dfrac{P}{U_L}=\dfrac{4.5}{3}=1.5(A)$

电路中电流强度 $I=1.5(A)$.

(2)电路中的电动机是非纯电阻电路. 根据能量守恒,电路中 $\varepsilon=U_R+U_L+U_r+U_m$

$U_m=\varepsilon-U_R-U_L-U_r=\varepsilon-I(R+R_L+r)=20-1.5\times(2+4+1)=9.5(V)$

(3)电源总功率 $P_{总}=I\varepsilon=1.5\times20=30(W)$.

13. 2×10^7W,0.001 [解析] $P=\dfrac{W}{t}=2\times10^7W$,$\eta=\dfrac{E}{E_{总}}=0.001$.

14. 6 0.5 18W [解析] 由 $U=E-Ir$ 得,$\dfrac{10}{2}=E-2r$;$\dfrac{5.5}{1}=E-r$,

$\begin{cases}r=0.5\Omega\\E=6U\end{cases}$ ∴ 最大功率即外阻等于内阻时的功率

$$\therefore P_{大}=\frac{E^2}{4r}=\frac{6^2}{2}=18W.$$

15. 1.6×10^{-5},1.0×10^{-5}

[解析] 电路中总电流 $I=\dfrac{\varepsilon}{R_1+R_2+r}=2A$,外电压 $U=\varepsilon-Ir=10V$,

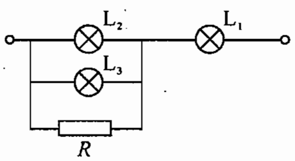
R_2 两端电压 $U_2=4V$,则 $Q_1=C_1U_2=1.6\times10^{-5}C$,$Q_2=C_2U=1.0\times10^{-5}C$.

16. [解析] $R=1\Omega$ $\eta=\frac{U_2I_2-I_2^2R}{U_2I_2}\times100\%=60\%$.

17. 86.3,86.3,B,C

[解析] S_2 放置 a、b 电流相等,则电阻 $R_A=R_1=86.3\Omega$,$R_3=\frac{E}{I_2}=\frac{4}{0.0002}=20k\Omega$,$R_{总}=\frac{E}{I}=\frac{4}{150\times10^{-6}}=26.6k\Omega$,$R_2=R_{总}-R_3-r=6.5k\Omega$.

18. 806.7Ω [解析] 电路如图所示.



电阻

$$R=\frac{110}{\frac{100}{110}-(\frac{60}{110}+\frac{25}{110})}=806.7\Omega$$

19. 6V [解析] 设 ρ 表示单位长度电阻,EB、FD 两段长度为 l. 则 $\frac{ER}{r+R+2\rho l}=U_1$,左移时 $\frac{ER}{r+R+2\rho(l+\Delta l)}=U_2$,右移时 $\frac{ER}{r+R+2(l-\Delta l)}=U_3$,解得 $U_3=6V$.

第十六章 机械振动

1. D [解析] 振子每次过平衡位置,加速度为零,速度方向可相同相反.
2. B [解析] 在最大位置处,加速度最大,弹性力最大
3. B、D [解析] 平衡位置时将物体 B 放在物体 A 上,A、B 动量守恒,系统损失能量,故物体再次回到平衡位置的速度减少,而在最大位移处将 B 放在 A 上,此时 A 的速度为零,系统的总能量不减少,所以振幅不变.
4. A [解析] 球 A 释放点应与球 B 最高点在同一水平面,即 $\cos\theta=1/2$.
5. D [解析] 单摆 $t=\frac{3}{2}\pi\sqrt{\frac{l}{g}}=\frac{3}{4}T$ 时,摆球应在平衡位置向负方向运动.
6. A、D [解析] 从平衡位置算起,半个周期冲量为 $2mv$,做功为零从最远点算起,半个周期冲量为零. 做功 $\frac{1}{2}mv^2$.
7. B、D [解析] 驱动力周期 $T=\frac{5}{3}s$,固有周期 $T_0=2s$. 要共振,需增大 T.
8. A [解析] 由 $mg=G\frac{Mm}{R^2}$ 知,$\frac{g}{g'}=(\frac{R+h}{R})^2$. 又由 $T=\frac{t}{N}=2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$ 得,$\frac{g}{g'}=(\frac{N}{N-1})^2$,联合解得 $\frac{h}{R}=\frac{1}{N-1}$.
9. A、B [解析] 车厢做匀速直线运动,静止的小球应受力平衡.
10. D [解析] 由图知 $t_1=T_1$,$t_2=2T_2$,由题意知 $\frac{t_2}{t_1}=\frac{v_1}{v_2}=\frac{1}{2}$,解得 $T_2=\frac{T_1}{4}$.
11. C [解析] 摆球在位移最大处速度为零,势能最大,绳中张力最小.
12. A
13. 甲 6f 6f [解析] 两振子的振动频率为 6f,甲振幅大些.
14. 1.25 [解析] 由对称性知,$T=(0.1+2\times0.15)\times2s=0.85s$,$f=\frac{1}{T}=1.25Hz$.
15. A_1、B_1 和 A_1、C_1 [解析] 先选 A_1、B_1 它们的周期不同,后选 A_1、C_1 它们的周期相同.
16. 120 0.25 [解析] 弹簧固有周期 T=0.5s,则摇把转速为 n=120 转/分时发生共振.
17. B [解析] 应选用 1m 长左右的细线,小钢球,秒表.
18. A、B [解析] 由 $g=\frac{4\pi^2l}{T^2}$ 知,g 偏小,原因是 l 偏小,T 偏大.
19. 24N [解析] 由匀变速运动规律知 $\Delta s=aT^2$,其中 T 为音叉周期的 $\frac{1}{2}$,由牛顿第二定律,知 $F-mg=ma$,联立解得 $F=m(g+a)=24N$.
20. 0.2 [解析] B 球下落时间 $t=\frac{1}{4}T=\frac{\pi}{2}\sqrt{\frac{l}{g}}$.

由运动学公式,有 $l=\frac{1}{2}at^2$,

由牛顿第二定律有 $G-F=ma$,

联合解得 $\frac{F}{G}=0.2$.

第十七章 机械波

1. A、B、C [解析] 机械波的传播要有介质,不能在真空传播.
2. B、D [解析] 简谐波沿长绳传播,绳上相距半个波长两质点位移大小相等,方向相反,相隔一个周期的两时刻,简谐波图象相同.
3. A、B [解析] 在甲介质中波速 $v=\frac{\lambda}{T}=\frac{10}{0.1}m/s=100m/s$,波从甲介质传播到乙介质波的频率不变,波长、波速发生变化.
4. A、B、C [解析] 由波的形成,知道波传播方向,可知质点振动方向,反之亦然.
5. C [解析] 波向左传播,波源是 N,N 振动 $\frac{3}{4}T$ 时后 P 点才开始振动,故只振动时间为 $\frac{T}{4}$.
6. A、B [解析] A 点两波振动步调一致,为振动加强处,经 $\frac{1}{4}T$,A 将到达波峰.
7. C、D [解析] 由于 b 处的质元经过 1/4 周期到达 b′处,重复了坐标为 5 的质元的振动形式,5 处质元为 b 质元的前一质点,所以波向右传播,③正确;由所给波动图象可直接读出波长为 4m,④正确,所以 C 选项正确.
8. A、B、C [解析] 由图可知,此水面波的波长与孔 AB 的宽度相当,故可以观察到明显的衍射现象;若将孔 AB 扩大,将不能观察到明显的衍射现象.
9. B [解析] 由振动图象可知,波向左传播,波速 $v=\frac{\lambda}{T}=\frac{100}{2}m/s=50m/s$.
10. B、C [解析] 由图知波长 $\lambda=4m$,周期 $T=0.02s$,频率 $f=50Hz$,再经 0.01s,a 质点正向下运动,加速度与速度方向相反,而图中 b 质点向下运动,加速度增大,动能转化成势能.
11. A [解析] S_1 和 S_2 连线上,每一加强点满足路程差 $\Delta s=n\lambda$,$(n=0,1,2\cdots)$,不能确定波长.
12. C
13. 1738 [解析] 设海水深度为 h,依题意有:$2h=v\Delta t$,

得 $h=\frac{v\Delta t}{2}=\frac{1448\times2.4}{2}m=1738m$.

所以海水的深度约为 1738m.
14. 1:3 [解析] 由波形图知,两波波长之比 $\lambda_A:\lambda_B=2:3$,则 $\frac{v_A}{v_B}=\frac{f_A}{f_B}\cdot\frac{\lambda_A}{\lambda_B}=1:3$.
15. 16m 4m/s [解析] 水波波长为 λ,则 $\frac{3}{2}\lambda=24m$,$\lambda=16m$,

$v=\lambda f=16\times\frac{15}{60}m/s=4m/s$.
16. 0.45s $-2\sqrt{3}cm$ [解析] 零时刻,A 在波峰,B 在平衡位置向上运动,若波传播方向 A→B,则 $\lambda=12m$ 不合题意,所以波传播方向 B→A,波传到 B 点时间 $t=\frac{3}{4}T=0.45s$,若波的传播方向由 A→B,则 $t'=0.3s$ 时,A 在波谷,B 在平衡位置向下运动,AB 间为 $\frac{1}{4}$ 个波长,故 P 点位移

$y=A\sin\frac{\pi}{3}=-2\sqrt{3}cm$.

17. 0.34　6.6 ［解析］ 波列长度 $L=100\times\frac{340}{10^5}\text{m}=0.34\text{m}$,波列间隔长度 $\Delta L=\frac{340-50\times0.34}{49}\text{m}=6.6\text{m}$.

18. (1)4s　(2)2 次 ［解析］ 波长 $\lambda=4\text{m}$,周期 $T=4\times0.5\text{s}=2\text{s}$,波速 $v=\frac{\lambda}{T}=\frac{4}{2}=2\text{m/s}$,故波从 A 传到 B 的时间 $t=\frac{s}{v}=\frac{8}{2}\text{s}=4\text{s}$,$AB$ 间有 2 个波长,故 A 停振后,B 能振 2 次.

19. 1、3、5、…、29 ［解析］ 设 A、B 间距 l,因干涉而静止的点到 A 间距 x,则考虑 A 比 B 落后 $\frac{1}{2}$ 周期开始振动有:

$[(l+2)-x]-x=\pm\frac{2n+1}{2}\lambda\quad n=0,1,2\cdots$

由题设条件知 $\lambda=\frac{v}{f}=4\text{m}$,

$\therefore x=\frac{l+2}{2}\pm\frac{\lambda}{4}(2n+1)\quad n=0,1,2\cdots$

$0<x<30$,

$x=1\text{m}、3\text{m}、5\text{m}、7\text{m}\cdots27\text{m}、29\text{m}$.

20. 1.05m/s　0.75m/s　1.35m/s ［解析］ 若波沿 x 轴正方向传播,有 $0.4=(n+\frac{3}{4})T$,$T=\frac{1.6}{4n+3}$.依题意 $2.5<\frac{4n+3}{1.6}<6$,有 $0.25<n<1.65$,即 $n=1$,此时 $T=\frac{1.6}{7}$,波速 $v=\frac{\lambda}{T}=\frac{0.24}{\frac{1.6}{7}}\text{m/s}=1.05\text{m/s}$.

若波沿 x 轴负方向传播,有 $0.4=(n+\frac{1}{4})T$,$T=\frac{1.6}{4n+1}$.依题意 $2.5<\frac{4n+1}{1.6}<6$,有 $\frac{3}{4}<n<2.15$,即 $n=1.2$,此时 $T_1=\frac{1.6}{5}$ 和 $T_2=\frac{1.6}{9}$,

波速 $v_1=\frac{0.24}{\frac{1.6}{5}}=0.75\text{m/s}$,$v_2=1.35\text{m/s}$.

第十八章　光

1. A ［解析］ 根据平面镜成像对称性特点可得.

更多资料下载,关注微信公众号:学习第一线,赠送5000G学习大礼包

2. D ［解析］ 玻璃砖可以使光发生侧移,不同厚度的玻璃侧移量不同,从而造成 M 屏上亮斑直径不同.

3. A ［解析］ 可以采用特殊值法,让平面镜转过45°进行比较,可知选项 A 正确.

4. C ［解析］ 分别做出 a、b、c 三光源的像,由像点向平面镜边缘引连线的在镜外所成的区域为观测区,而连线所成的角是同一个圆的直径所对的圆周角,均为 90°,所以 C 正确.

5. A ［解析］ 提高转速,若在图示位置由光源投到面 1 上的光线完成在 A、B 之间的往返回到棱镜位置时棱镜刚好转过 $\frac{1}{8}$ 转,光线虽不能被面 3 反射,但面 2 已转到面 3 的原来位置,光线将由面 2 反射到望远镜筒中被观察到.设这时棱镜的转速为 nr/s,转一周所用时间为 $\frac{1}{n}$s,所以光线的往返时间 $\Delta t=\frac{1}{8n}$s,设 A、B 间的距离为 s,则光速 $c=\frac{2L}{\Delta t}=16nL$.

6. B ［解析］ 镜面以 $\omega=\frac{\pi}{3}$rad/s 绕轴匀速转动,而入射光线不动,则反射光线将以 $2\omega=\frac{2}{3}\pi$rad/s 匀速转动,它的周期为 $T=\frac{2\pi}{2\omega}=3$s.当光源每秒闪 12 次,即 3s 共闪 36 次,因此 AB 弧形屏幕上,每转一周会出现光点数为 $n=\frac{1}{6}\times36=6$ 个.

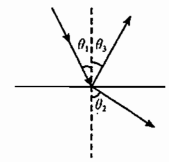
7. B、D ［解析］ 该题容易错选的答案是选项 C.认为既然 S 射向 M 的光线被 N 遮住了一部分,所成像的亮度必定要减小一些,造成该错误的原因是混淆了实像和虚像的区别.对实像来说,它因为是实际光线的会聚点,当部分光线被遮住后,实际会聚的光线少了,亮度必然要降低一些,而这里 S' 是 S 的虚像,根本不是光线的实际会聚点,人眼之所以能通过 M 看到 S',是因为 S 发出的光经 M 反射的一部分进入了人的眼睛所致.

8. D ［解析］ 因为界面互相平行,而且在折射现象中光路也是可逆的,所以折射角总也不会大于临界角(否则可逆光出不去),因此在界面Ⅱ上的入射角等于界面Ⅰ的折射角,它小于临界角,故不会在界面Ⅱ发生全反射,只是有折射和反射,同理界面Ⅲ上也只有反射和折射而不存在全反射,选项 D 正确.

9. D ［解析］ 根据三棱镜成像特点可知.

10. B ［解析］ 本题"空气三棱镜"在水中,其对光线的偏折作用与玻璃三棱镜恰好相反.

11. B ［解析］ 光线从第一个三棱镜垂直于 AB 界面射人,到达 AC 界面时,要发生偏折,进入透明介质,再到达第二个三棱镜的 AC 面,折射进入棱镜,由于这两个界面是平行的,进入第二个三棱镜的光一定与入射光平行,并垂直 AB 边射出,如果透明介质相对于三棱镜的玻璃是光密介质,出射的光线应是光线 4;如果透明介质相对于三棱镜的玻璃是光疏介质,出射的光线应是光线 6;如果透明介质跟玻璃的折射率相同,光线是 5,故选项 B 正确.



12. A ［解析］ 依题意作出光路图,如下图所示.

折射角 $\theta_2=90°-\theta_3=90°-\theta_1$

玻璃折射率:$n=\frac{c}{v}=\frac{3\times10^8}{\sqrt{3}\times10^8}=\sqrt{3}$.

由折射定律:$n\sin\theta_1=\sin\theta_2=\sin(90°-\theta_1)=\cos\theta_1$,

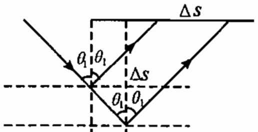
即 $\tan\theta_1=\frac{1}{n}=\frac{\sqrt{3}}{3}$.　$\therefore\theta_1=30°$.

所以选项 A 正确.

13. 16 ［解析］ 航天飞机绕行到向阳的区域,阳光能够照射到它时为白昼,当飞到地球背阳的区域,阳光被地球挡住时就是黑夜,航天飞机昼夜长短与其轨道到地心的距离有关,在航天飞机离地球较远时速率变慢,昼夜周期长,而离地球近时速率变快,昼夜周期短.因为航天飞机绕地球一周所需时间约为 90min,而地球昼夜交替的周期是 24×60min,所以航天飞机的宇航员在绕行地球一周的时间内,看到的日出日落次数为 $N=24\times60/90=16$ 次.

14. 7 点 15 分 ［解析］ 平面镜成像时,尽管物和像大小相等且镜面对称但物和像左右是相反的.所以可从图所在纸面的背面去直接读出,也可以用 24 小时减去钟面像的读数.

15. 降低了 $\frac{\Delta s}{2\tan\theta_1}$.



［解析］ 如下图的反射光路图可知:

$\frac{\frac{\Delta s}{2}}{d}=\tan\theta_1$,$\therefore d=\frac{\Delta s}{2\tan\theta_1}$

16. 1.73,经过 P'_1,P'_2 的光线在界面 MN 处发生全反射.

17. (1)设光在介质中的传播速度为 v,波长为 λ,频率为 f,

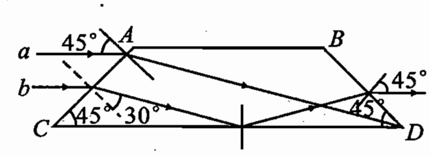
则 $f=\frac{v}{\lambda}$　①　$v=\frac{c}{n}$　②

联立①②式得 $f=\frac{c}{n\lambda}$　③

从波形图上读出波长 $\lambda=4\times10^{-7}$m,

代入数据解得 $f=5\times10^{14}$Hz　④

(2)光路如图所示:

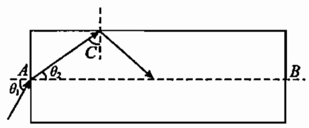


18. ［解析］ 作上图找出发光点 S 在平面镜中的像点 S',连接 $S'M$ 延长交直尺于 H 点,MH 沿竖直方向,连接 $S'P$,在 $Rt\triangle PRS'$ 中,$PR=3dm$,$\angle r=30°$

由折射定律得：$\frac{\sin\theta_1}{\sin\theta_2}=n=\sqrt{2}$.

解得：$\sin\theta_1=\frac{\sqrt{2}}{2}$，$\theta_1=45°$，刻度尺上被照亮的范围：$QH=1\text{dm}+\sqrt{3}\text{dm}=(1+\sqrt{3})\text{dm}$.

19. [解析] 如下图所示



(1) $\sin C=\frac{1}{n}$

当 θ_1 最大时，θ_2 最大，C 角最小，$\theta_2+C=90°\frac{\sin\theta_1}{\sin\theta_2}=n$，

又 $\sin\theta_2=\cos C=\sqrt{1-\sin^2C}=\sqrt{1-\frac{1}{n^2}}$，

即 $\sin\theta_1=n\sin\theta_2=\sqrt{n^2-1}$，恰好能发生全反射，入射角最大值为 $\arcsin\sqrt{n^2-1}$.

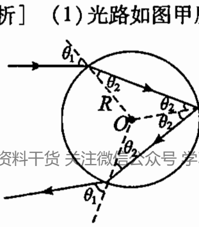
(2) 当入射角 θ_1 为 90°时最大，$\frac{\sin\theta_1}{\sin\theta_2}=n$，$\sin\theta_2=\frac{1}{n}$，此时 θ_2 也最大时必须发生全反射，$\sin C=\frac{1}{n}$，$\theta_2=C=45°$.

则折射率最小为$\sqrt{2}$.

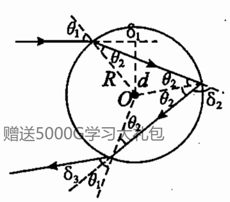
(3) 此过程光在玻璃棒中发生全反射，光程 $s=\frac{L}{\sin C}=nL$.

光速 $v=\frac{c}{n}$，到达另一端时间 $t=\frac{s}{v}=\frac{n^2L}{c}$.

20. [解析] (1) 光路如图甲所示.



更多资料干货 关注微信公众号 学习第一线 赠送5000G学习大礼包



甲　　　　乙

(2) 以 θ_1，θ_2 表示入射光线的入射角，折射角，由折射定律有：

$$\sin\theta_1=n\sin\theta_2.$$

以 δ_1、δ_2、δ_3 表示每一次偏转角度，如图乙所示.

由反射定律、折射定律和几何关系可知：$\sin\theta_1=\frac{d}{R}$，

$\delta_1=\theta_1-\theta_2$，$\delta_2=\pi-2\theta_2$，$\delta_3=\theta_1-\theta_2$.

由以上各式解得：$\delta_1=\arcsin\frac{d}{R}-\arcsin\frac{d}{nR}$，

$\delta_2=\pi-2\arcsin\frac{d}{nR}$，　$\delta_3=\arcsin\frac{d}{R}-\arcsin\frac{d}{nR}$.

第十九章　光的波动性

1. A、B、C、D [解析] 以牛顿为代表的微粒说可以简明直观地解释光的直线传播和光的反射定律，但它难以解释光的叠加、干涉等现象；而以惠更斯为代表的波动说把光看做是某种振动在介质中的传播，可以令人信服地解释光的反射、折射，但难以解释物体影子的存在.

2. B、D [解析] 由于红光的波长比紫光长，又因为波长越长，同样条件下干涉条纹的间距越大，故 A 不对.

由于光具有波动性，会发生衍射，所以光沿直线传播是一种近似规律，B 正确.

声波是纵波，没有偏振现象，光波是横波，有偏振现象，故 C 错.

声音在水中的传播速度较空气中大，光波在水中的传播速度较空气中小，故 D 正确，故可以选 B、D.

3. C [解析] 根据电磁波谱可知，中波、微波，可见光、X 光它们的波长逐渐减小，频率逐渐增高.

4. A [解析] 声波和电磁波都是波，都能产生反射、折射、干涉和衍射等现象. 声波是机械波，只能在弹性介质中传播；电磁波的传播不需要弹性介质来传递，当然，它在弹性介质中也能传播. 声波是纵波，没有偏振现象；电磁波是横波，有偏振现象. 电磁波由空气进入水、玻璃等介质时，传播速度要减小，它的波长也随之减小；声波由空气进入水、玻璃等弹性介质时，传播速度要增大，它的波长也随之增大.

5. D [解析] 本题解题观点类似于增透膜，光在增透膜两个表面反射的两束光互相减弱，反射光光强减小，则透射光光强增大.

6. B [解析] 增透膜是抵消反射光而增强透射光的，高反膜是一种对光的反射率远大于透射率的物质，它可以增强反射光而削弱透射光.

7. (1) D (2) A (3) C [解析] (1) 可见光的波长范围在 0.4μm ~ 0.8μm 而胶体分子直径为 $10^{-9}\sim10^{-7}$m，由此看来胶体分子直径 d 与入射光波长 λ 相近，能发生"丁达尔现象"，即看见明亮的光路，答案选 D 选项.

(2) 因为当 $d\ll\lambda$ 时，微粒对光的行进不起作用，光沿直线通过溶液，不会看见明亮的光路，当 $d\gg\lambda$ 时，光线被分子挡住，产生反射，不能穿过混浊的液体，只有 d 和 λ 相近，才产生散射，出现"丁达尔"现象. 看见明亮的光路. 答案选 A 选项.

(3) A、B、D 三种溶液微粒直径与光波长相近，可产生"丁达尔"现象. C 溶液微粒太大，不具备产生"丁达尔"现象的条件. 答案选 C 选项.

8. A、D [解析] 这四种波均不在可见光范围内，所以它们不能引起人们的视觉反应，人眼便看不到它们；这四种波中无线电波的波长最长，所以无线电波最容易发生衍射现象；这四种波产生机制不同，只有无线电波才是振荡电路中自由电子周期性运动而产生的，电磁波在真空中的传播速度是个定值都等于光速（真空中）.

9. D [解析] 红外线的热效应最显著，选项 A 错；穿透能力最强的是 γ 射线，选项 B 错；晒黑皮肤主要是紫外线的生理作用，选项 C 错；红外线是光中波长最长的，波动性在光中最强，在穿过云雾时，能绕过尘埃传播，因此它易穿透云雾，应用于遥感技术，选项 D 正确. 当然应用"排除法"也知 D 正确.

10. D [解析] 把狭缝调整到更窄时，衍射现象明显，表现为中央亮条纹更宽，但由于狭缝更窄，透过光亮减小，条纹将变暗.

11. A [解析] 在圆孔由大到小调节的过程中，当孔较大时，光直线传播，在屏上得到圆形亮斑；当孔的直径减小到与光波的波长相近似时，产生光的衍射现象，屏上将出现明、暗相间的亮环；当孔继续减小到完全闭合时，没有光到达屏上，屏上完全黑暗.

12. B [解析] 这是光通过珍珠质薄膜的前后两表面产生干涉的结果.

13. D [解析] 电子从阴极 K 发出后，在 KA 间加速，故对阴极 A（阳极）应接电源正极，即高压电源的正极应接在 Q 点，电子在 KA 间加速后以很大的速度打在对阴极 A 上，从对阴极 A 上激发出 X 射线.

14. C [解析] 根据 $\Delta x=\frac{L}{d}\lambda$ 计算.

15. B [解析] 第一极暗纹到两缝的路程差为波长的 0.5 倍，第二极暗纹到两缝的路程差为波长的 1.5 倍，第三级暗纹到两缝的路程差为波长的 2.5 倍；第一级亮纹到两缝的路程差为波长的 1 倍，第二级亮纹到两缝路程差为波长的 2 倍，第三级亮纹到两缝的路程差为波长的 3 倍. 故仅选项 B 正确.

16. A [解析] 红外报警装置利用接受到的红外线转化为电信号，红外线是一种电磁波，由麦克斯韦的光是一种电磁波可以理解为将光的信号转变成电信号；声控开关是将声音信号转变成电信号；压力传感器则是将压力转变为电信号；温控器是利用热敏电阻的特性用电信号反应温度的变化的. 故选项 A 是正确的.

17. B [解析] 考查证明光特性——偏振的重要实验，该实验说明光是一种横波，故选项 B 是正确的.

18. 较长、衍射、很高、穿透、X 射线

19. $\frac{5c}{2r}$ [解析] 形成暗纹的条件 $\Delta r=(2K+1)\frac{\lambda}{2}$，当 $K=2$ 时，为第

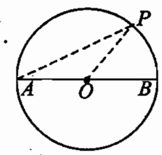
三级暗纹.

20. $2.1\times10^{13}\sim1.9\times10^{13}$ Hz, $1.4\times10^{-20}\sim1.3\times10^{-20}$ J. 无规则运动(或热运动)更剧烈,或平均动能更大.

21. 不变、变窄、变窄

[解析] 尖劈的上表面向上平移时,膜的厚度各处增加的一样,在原来反射光加强的点还是加强,所以条纹的宽度不变,尖壁的倾角增大时,膜各处增加的厚度不一样多,在原来反射光加强的位置必下移,使得干涉条纹变窄. 换用折射率为 n 的透明介质时,光在其中的传播速度减小,波长变短,原来反射加强的位置也下移,使干涉条纹变窄.

22. 8个 [解析] 由于两波源相同,接收不到信号处必定是两波源距离差等于半波长的奇数倍的位置.



电磁波波长为 $\lambda=\frac{c}{f}=\frac{3\times10^8}{3\times10^7}$m $=10$m,如图,圆周上某一动点 P 到 A、O 两点距离差 Δs 的最大值为 $90\text{m}-45\text{m}=45\text{m}$,且这一位置有两处,分别是位于 A 点和 B 点;P 与 A 点、O 点距离差的最小值为零,该位置在过 AO 中垂线与圆周的交点. 利用数学知识可以得到由 A 经圆弧至 B,Δs 先由 45m 减小到 0,再由 0 增大到 45m,故 Δs 为半波长奇数倍的位置的个数为 $N=2\times\frac{45}{10}-1=8$,其 Δs 值分别为 35m、25m、15m、5m 和 5m、15m、25m、35m.

23. [解析] 设电动机得到的总功率为 P_1,则:$P_1=UI$

电动机消耗功率为 I^2R,

则电动机输出总功率 $P_2=UI-I^2R$,

电动机输出有效功率 $P_3=P_2\cdot\eta_1$.

当车速度最大时车作匀速运动,$F_{牵}=F$,故 $P_3=F\cdot v_m$,

有:$v_m=\frac{P_3}{F}=\frac{(UI-I^2R)\eta_1}{F}=6\text{m/s}$.

设太阳能电池板的效率 η_2,则 $\eta_2=\frac{UI}{P_0\cdot S}=15\%$.

第二十章 动量守恒定律

1. C [解析] 由动量守恒,A 车动量大于 B 车动量.

2. A、B [解析] 物体受恒力,加速度恒定.

更多资料干货关注微信公众号学习第一线 赠送5000G学习大礼包

3. B、C [解析] 冲量 $I=2mv$,功 $W=0$.

4. C、D [解析] 缓拉是静摩擦力,快拉是滑动摩擦力,快拉时摩擦力大,缓拉时间长,冲量比快拉大.

5. A [解析] 甲、乙物体动量变化大小相同,所以冲量 $I_1=I_2$. 又因为 $I_1=F_1t_1$,$I_2=F_2t_2$,而 $t_2>t_1$,所以 $F_1>F_2$.

6. A、B、D [解析] A、B 受力相等,加速度相等,弹簧最长,二者速度相同,弹簧最短,系统动能最小.

7. A、D [解析] 脱钩后,汽车和拖车系统所受外力之和为零,总动量不变但拖车做减速运动,总动能增加.

8. A、B、C、D [解析] $(m_A+m_B)v=m_A(\pm v)+m_Bv'_B$,得 $v'_B=v$,$v''_B=(2k+1)v$,由此可知选 A、B、C、D.

9. D [解析] 在弹性碰撞中,当质量相同时,动量互换即速度互换,球 1 与球 2 相碰后,球 2 再与球 3 相碰,由此可知,选 D.

10. B、C [解析] 子弹穿过木块所受阻力恒定,做匀减速直线运动,则 $\bar{v}=\frac{1}{2}(v_1+v_2)$. 又 $v_1=\frac{2E_1}{p_1}$,$v_2=\frac{2E_2}{p_2}$,所以 $\bar{v}=\frac{E_1}{P_1}+\frac{E_2}{P_2}$.

11. C [解析] 由动量守恒,碰后甲球动量 $p'_甲=2kg\cdot m/s$,碰撞能量不会增加,所以 $\frac{25}{m_甲}+\frac{49}{m_乙}\geqslant\frac{4}{m_甲}+\frac{100}{m_乙}$. 解得 $m_甲\leqslant0.41m_乙$,选 C,若选 D,碰后甲超过乙速度,不合事实.

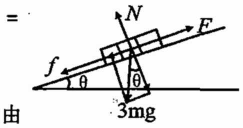
12. $\frac{m_AFt}{m_A+m_B}$ $\frac{m_BFt}{m_A+m_B}$ [解析] 对 A、B 整体:有 $Ft=(m_A+m_B)v$,得 $v=\frac{Ft}{m_A+m_B}$. 对 A:$I=m_Av=\frac{m_AFt}{m_A+m_B}$;对 B:$\Delta p=m_Bv-0=\frac{m_BFt}{m_A+m_B}$.

13. Smv^2 [解析] 飞船增加的动量 $\Delta p=\Delta mv=v^2tSm$,要保持飞船做匀速运动,须增加牵引力 F,有 $Ft=v^2tSm$,解得 $F=v^2Sm$.

14. 左 0.6m/s [解析] 甲、乙动量差 $\Delta p=(m_乙-m_甲)v=60\text{kg}\cdot\text{m/s}$ 向右,由动量守恒,小船向左运动,速率有 $mv_船=\Delta p$,解得 $v_船=0.6\text{m/s}$.

15. B、C、D [解析] 要测两小球质量,其它不需要测量.

16. [解析] (1)设工人的推力为 F,则有 $F=3mg\sin\theta+\mu N$,而 $N=3mg\cos\theta$



$\therefore F=3mg(\sin\theta+\mu\cos\theta)$ ①

(2)设第一次碰撞前瞬间木箱速度为 v_1,由动能定理可知 $Fl-mgl\sin\theta-\mu mgl\cos\theta=\frac{1}{2}mv_1^2$ ②

设碰撞后两木箱的速度为 v_2,由动量守恒得

$mv_1=2mv_2$ ③

设再次碰撞前瞬间速度为 v_3,则动能定理可知

$Fl-2mgl\sin\theta-2\mu mgl\cos\theta=\frac{1}{2}(2m)v_3^2-\frac{1}{2}(2m)v_2^2$ ④

设碰撞后三个木箱一起运动的速度为 v_4,由动量守恒得 $2mv_3=3mv_4$ ⑤

联立以上各式得 $v_4=\frac{2}{3}\sqrt{2gl(\sin\theta+\mu\cos\theta)}$ ⑥

(3)设在第一次碰撞中损失的机械能为 ΔE,有 $\Delta E=\frac{1}{2}mv_1^2-\frac{1}{2}\times2mv_2^2$

联立①②③⑦式得 $\Delta E=mgl(\sin\theta+\mu\cos\theta)$ ⑧

17. [解析] (1)由 A→C 过程,由动能定理可知 $-\mu mgl=0-\frac{1}{2}mv_A^2$

故 $v_A=\sqrt{2\mu gL}$

(2)0→A 的过程,由动量定理可知

$I=mv_A-0=m\sqrt{2\mu gL}$

(3)由 A→O′过程,设 AB 间距为 s,由动能定理可知

$-\mu mgs-0.8\mu mg(L+r-s)=0-\frac{1}{2}mv_A^2$

将 v_A 代入得 $s=L-4r$

18. (1)滑块 A 与 B 正碰,满足 $mv_A+mv_B=mv_0$ ①

$\frac{1}{2}mv_A^2+\frac{1}{2}mv_B^2=\frac{1}{2}mv_0^2$ ②

由①②解得 $v_A=0$,$v_B=v_0$

根据动量定理,滑块 B 满足 $F\cdot\Delta t=mv_0$

解得 $F=\frac{mv_0}{\Delta t}$

(2)a. 设任意点到 O 点竖直高度差为 d.

A、B 由 O 点分别运动至该点过程中,只有重力做功,所以机械能守恒. 选该任意点为势能零点,有 $E_{kA}=mgd$,$E_{kB}=mgd+\frac{1}{2}mv_0^2$

由于 $p=\sqrt{2mEk}$ 有 $\frac{P_A}{P_B}=\sqrt{\frac{E_{kA}}{E_{kB}}}=\sqrt{\frac{2gd}{v_0^2+2gd}}<1$

即 $P_A<P_B$,A 下滑到任意一点的动量总是小于 B 平抛经过该点的动量.

b. 以 O 为原点,建立直角坐标系 xOy,x 轴正方向水平向右,y 轴正方向竖直向下,则对 B 有 $x=v_0t$,$y=\frac{1}{2}gt^2$

B 的轨迹方程 $y=\frac{g}{2v_0^2}x^2$

在 M 点 $x=y$,所以 $y=\frac{2v_0^2}{g}$ ③

因为 A、B 的运动轨迹均为 OD 曲线,故在任意一点,两者速度方向相同. 设 B 水平和竖直分速度大小分别为 v_{Bx} 和 v_{By},速率为 v_B;A 水平和竖直分速度大小分别为 v_{Ax} 和 v_{Ay},速率为 v_A,则

$\frac{v_{Ax}}{v_A}=\frac{v_{Bx}}{v_B}$,$\frac{v_{Ay}}{v_A}=\frac{v_{By}}{v_B}$ ④

B 做平抛运动,故 $v_{Bx}=v_0$,$v_{By}=\sqrt{2gy}$,$v_B=\sqrt{v_0^2+2gy}$ ⑤

对 A 由机械能守恒得 $v_A\sqrt{2gy}$ ⑥

由④⑤⑥得 $v_{Ax}=\dfrac{v_0\sqrt{2gy}}{\sqrt{v_0^2+2gy}}, v_{Ay}=\dfrac{2gy}{\sqrt{v_0^2+2gy}}$

将③代入得 $=v_{Ax}\dfrac{2\sqrt{5}}{5}v_0, v_{Ay}=\dfrac{4\sqrt{5}}{5}v_0$

19. (1)8kg · m/s (2)2J (3)20J [解析] (1)弹簧压缩最短时，木块与小车有相同速度 v，则 $I=(M+m)v$，得 $v=2\text{m/s}$.
所以平板车动量 $p=Mv=8\text{kg}\cdot\text{m/s}$.
(2)木块返回左端速度仍为2m/s，动能 $E_k=\dfrac{1}{2}mv^2=2\text{J}$.
(3)木块从出发到返回左端，克服摩擦力做功 W_f，
$W_f=\dfrac{I^2}{2m}-\dfrac{1}{2}(M+m)v^2=40\text{J}$.
所以木块从出发至弹簧压缩最短，克服摩擦力做功 $\dfrac{1}{2}W_f$
有 $E_p=\dfrac{I^2}{2m}-\dfrac{1}{2}W_f-\dfrac{1}{2}(M+m)v^2=20\text{J}$.

第二十一章 波粒二象性

1. A、B、C [解析] 按经典的光的波动理论，光的能量随光的强度的增大而增大，与光的频率无关，从金属中飞出的电子，必须吸收足够的能量后才能从其中飞出，电子有一个能量积蓄的时间. 光的强度大，单位时间内辐射到金属表面的光子数愈多，被电子吸收的光子数自然也多，这样产生的光电子数也多，但光电子不一定全部形成光电流. 故上述选项中正确的是A、B、C.
2. A、B、D [解析] 图线与 V 轴的交点处的频率为极限频率，图线的斜率为 h，保持不变.
3. C、D [解析] 少量光子通过双缝后照片上呈现不规则分布亮点，显示了光的粒子性，大量光子通过双缝后照片上获得了双缝干涉条纹，说明光具有波动性；光子先后依次通过双缝，说明光的波动性不是光子之间的相互作用引起的.
4. A、B [解析] 光具有波粒二象性，它属于微观世界中的粒子，更不是宏观世界中的机械波，它是一种概率波，个别光子运动表现出粒子性而大量的光子才表现出波动性，光的强度并不影响光的波粒二象性，不同的光频率越高则粒子性越强.
更多资料干货 关注微信公众号 学习第一线 赠送5000G学习大礼包
5. B [解析] 氢原子从激发态跃迁到基态，电子的轨道半径减小，动能增加，电势能减小，速度增加. 由 $T=\dfrac{2\pi R}{v}$ 可知，T 减小，A错，B对. 由于原子的总能量减小，所以电势能的减小大于电子动能的增加，故C、D错.
6. A [解析] 根据题意，有90%的光子通过了截面，单位时间内 $P=h\dfrac{c}{\lambda}\cdot n\times90\%$.
单位面积上的光子数为：$\dfrac{n}{\frac{1}{4}\pi d^2}=\dfrac{\frac{P\lambda}{hc90\%}}{\frac{1}{4}\pi d^2}=\dfrac{3.6P\lambda}{\pi d^2hc}$，故选A.
7. B、C [解析] 某种金属的逸出功，是指金属表面的电子克服金属原子核的引力所做的功. 要想产生光电效应现象，照射光的能量必须大于逸出功.
8. A、B [解析] 光电管是利用光电效应将光信号转化为电信号的元件. 当它正常工作时，利用电场将从阴极逸出的电子加速"拉"向阳极，从而使电路中形成电流，且电流的大小与照射光有关. 反之它也能把电信号转变成光信号. 故上述项中正确的是A、B选项.
9. D [解析]处于基态的氢原子所吸收的光子的能量恰好为基态与其他激发态的能量差时，则能跃迁到相应的轨道，否则不发生跃迁.
10. B [解析] 太阳光谱是暗线光谱，白灯灯光谱才是明线光谱；进行光谱分析时，可以用明线光谱也可以用暗线光谱；月光是月球反射的太阳光，不能确定月球的化学组成.
11. A [解析] 根据爱因斯坦的光电效应方程可知，只有当入射光的光子能量大于该金属逸出功时，才会有光电子产生. 故任何金属都存在一个最低频率，即存在一个"最大波长".
12. C、D [解析] 光波属于电磁波，同时它又具有粒子性，光的波粒二象性并不是微粒说与波动说简单的组合，光波是一种几率波.
13. $a, hc/\lambda$ [解析] 产生光电子的地方在 K 极板，若能让这些光电子在电场作用下定向移动到 A，便可在回路中形成光电流，故电源正极应为 a. 已知产生光电效应的入射光的最大波长为 λ，那么金属极限频率就为 $v=c/\lambda$，对应能产生光电效应的入射光子的最小能量 $E=h\cdot v=hc/\lambda$.
14. 4.56×10^{14}Hz, 3.4eV, −6.8eV, −3.4eV
[解析] $E_2=\dfrac{E_1}{4}=-3.4eV, E_3=\dfrac{E_1}{9}=-1.51\text{eV}$.
由 $hv=E_3-E_2$，得 $v=\dfrac{E_3-E_2}{h}$
$=\dfrac{(-1.51+3.4)\times1.6\times10^{-19}}{6.63\times10^{-34}}\text{Hz}=4.56\times10^{14}\text{Hz}$
由 $E_2=E_{k2}+E_{p2}=E_{k2}-2E_{k2}$
得：$E_{k2}=-E_2=3.4\text{eV}$(电子动能)
则：$E_{p2}=-2E_{k2}=-6.8\text{eV}$.(原子势能)
15. 极限；大于；入射光的强度；入射光的频率；瞬时的；10^{-9}秒；入射光的强度.
16. 1.8；2.2 [解析] 在光电管中加反向电压时(U_K 高于 U_A)，逸出的光电子克服电场力做功，当 $E_K=qU$ 时，光电流恰好截止，填1.8、2.2.
17. $\dfrac{d}{4}\sqrt{\dfrac{P\lambda}{hcN}}$ [解析] 设最大距离为 r，功率为 P 的点光源1s内发出的光子数为 n，$P=nhv=nh\dfrac{c}{\lambda}, n=\dfrac{P\lambda}{hc}$.
在半径为 r 的球面上，单位面积上的光子数为 $\dfrac{n}{4\pi r^2}$. 则：$\dfrac{n}{4\pi r^2}\cdot\pi(\dfrac{d}{2})^2=N$，解得：$r=\dfrac{d}{4}\sqrt{\dfrac{P\lambda}{hcN}}$.
18. [解析] (1) $n=It/e=3.5\times10^{12}$个；
(2)应用动能定理，$E_{KA}=hv-W+eU=6.01\times10^{-19}\text{J}$；
(3)最大动能不变，仍为 6.01×10^{-19}J.
19. [解析] (1)可能产生三种跃迁，分别是：①从 $n=3$ 跃迁到 $n=1$；②从 $n=3$ 跃迁到 $n=2$；③从 $n=2$ 跃迁到 $n=1$，共出现三种不同光谱线.
(2)从氢原子能级图可以推算出：
氢原子从 $n=1$ 的能级激发到 $n=2$ 的能级时所需吸收的能量
$\Delta E_{21}=E_2-E_1=-3.4\text{eV}-(-13.6)\text{eV}=10.2\text{eV}$.
如果氢原子从 $n=1$ 的能级激发到 $n=3$ 的能级，那么所需吸收的能量为 $\Delta E_{31}=E_3-E_1=1.5\text{eV}-(-13.6)\text{eV}=12.09\text{eV}$.
因为外来电子的能量 $E_电=11\text{eV}$，和上述计算结果相比较可知：$\Delta E_{21}<E_电<\Delta E_{31}$.
所以具有11eV能量的外来电子，只能使处于基态的氢原子激发到 $n=2$ 的能级，这时外来电子剩余的动能为：$E_外-\Delta E_{21}=11\text{eV}-10.2\text{eV}=0.8\text{eV}$.
(3)如果外来光子的能量 $E_光=11\text{eV}$，由于光子能量是一个不能再分割的最小能量单元，当外来光子能量不等于某两级能量差时，则不能被氢原子所吸收，自然，氢原子也不能从基态激发到任一激发态.
20. [解析] (1)由于正、负电子质量相等，故两电子的轨道半径相等，设为 r，则正负电子间距为 $2r$，速度均为 v.
则 $\dfrac{ke^2}{(2r)^2}=m_e\dfrac{v^2}{r}$. $2m_evr=n\dfrac{h}{2\pi}$.
电子偶能量 $E_n=2\times\dfrac{1}{2}m_ev^2-\dfrac{ke^2}{2r}=-\dfrac{m_ek^2\pi^2e^4}{n^2h^2}$.
电子偶的基态能量为 $E_1=-\dfrac{m_ek^2\pi^2e^4}{h^2}$.
(2)电子偶处于第一激发态时能量为 $E_2=\dfrac{E_1}{4}$.
设电子偶从第一激发态跃迁到基态时发出光子的波长为 λ，则
$E_2-E_1=-\dfrac{3}{4}E_1=\dfrac{hc}{\lambda}$, 则 $\lambda=\dfrac{4ch^3}{3m_ek^2\pi^2e^4}$.

重拳出击　打击仿冒、盗版

盗版书商　入狱八年

——本市特大盗版图书案宣判

晨报讯(通讯员　李海波　李元　记者　赵中鹏)"买真书,印假书,专销盗版畅销书"湖北来京的谢先文在从事图书经营不久就专门做起盗版书生意,不到一年就购入、储运、批发、销售盗版图书达4.7万册,经营数额达100余万元。日前,二审法院维持了原判,以非法经营罪判处谢先文有期徒刑八年,剥夺政治权利一年,没收个人财产人民币7万元……

——摘自2002年3月10日《北京晨报》

注意!

第二百一十七条　以营利为目的,有下列侵犯著作权情形之一,违法所得数额较大或者有其他严重情节的,处三年以下有期徒刑或者拘役,并处或者单处罚金;违法所得数额巨大或者有其他特别严重情节的,处三年以上七年以下有期徒刑,并处罚金:

(一)未经著作权人许可,复制发行其文字作品、音乐、电影、电视、录像作品、计算机软件及其他作品的;

(二)出版他人享有专有出版权的图书的;

(三)未经录音录像制作者许可,复制发行其制作的录音录像的;

更多资料干货 关注微信公众号 学习第一线,赠送5000G学习大礼包

(四)制作、出售假冒他人署名的美术作品的。

第二百一十八条　以营利为目的,销售明知是本法第二百一十七条规定的侵权复制品,违法所得数额巨大的,处三年以下有期徒刑或者拘役,并处或者单处罚金。

——摘自《中华人民共和国刑法》

郑重声明

依照《中华人民共和国著作权法》,本书版权所有,任何人或单位都不得仿冒《高中物理巧学巧解大全》书名从事图书出版活动,不得擅自抄袭本书的研究成果,不得盗版及销售盗版图书,一旦发现,将违法图书寄往中华人民共和国新闻出版总署,并将采取法律手段,使侵权者必将受到法律的严惩!

西安出版社

凡举报仿冒及销售盗版图书者,一经查实,必有重奖回报!

举报电话:18971724878